



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0098883  
(43) 공개일자 2022년07월12일

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>H01L 21/67 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)<br/>H01L 21/311 (2006.01) H01L 21/3213 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/>H01L 21/67075 (2013.01)<br/>H01L 21/027 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2021-0000731</p> <p>(22) 출원일자 2021년01월05일<br/>심사청구일자 2021년01월05일</p> | <p>(71) 출원인<br/>울산과학기술원<br/>울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(72) 발명자<br/>김태성<br/>울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50<br/>배주열<br/>울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(74) 대리인<br/>전용준</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

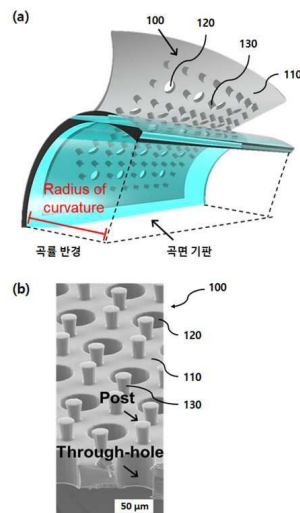
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법 및 액체매개 패턴

(57) 요약

본 발명은, 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 액체매개 패턴형성장치를 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**H01L 21/31111** (2013.01)

**H01L 21/32134** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                              |
|-------------|----------------------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711115563                                   |
| 과제번호        | 2020R1A2C3003344                             |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                                    |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                                       |
| 연구사업명       | 개인기초연구(과기정통부)(R&D)                           |
| 연구과제명       | Soft/Hard 나노플루이딕스 플랫폼 기반의 다중물리 전달현상 제어 및 모델링 |
| 기 여 율       | 1/3                                          |
| 과제수행기관명     | 울산과학기술원                                      |
| 연구기간        | 2020.03.01 ~ 2021.02.28                      |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711110819                         |
| 과제번호        | 2020R1A4A2002728                   |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                          |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                             |
| 연구사업명       | 집단연구지원(R&D)                        |
| 연구과제명       | 급속·정밀 냉각 기반 신경 신호전달 모델링 및 제어 기초연구실 |
| 기 여 율       | 1/3                                |
| 과제수행기관명     | 울산과학기술원                            |
| 연구기간        | 2020.03.01 ~ 2021.02.28            |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호      | 1711109819              |
| 과제번호        | 2017R1A2A1A17069723     |
| 부처명         | 과학기술정보통신부               |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                  |
| 연구사업명       | 개인기초연구(과기정통부)(R&D)      |
| 연구과제명       | 개인기초연구(과기정통부)(R&D)      |
| 기 여 율       | 1/3                     |
| 과제수행기관명     | 울산과학기술원                 |
| 연구기간        | 2020.03.01 ~ 2020.08.31 |

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및

상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함하는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 기둥부재들은, 인쇄 대상체에 접촉하여, 상기 유연 모재와 상기 인쇄 대상체 사이에 증발대상액체를 수용하여, 상기 증발대상액체의 증발에 의하여 액체매개 패턴이 형성되는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 기둥부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열된, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 관통구멍들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열된, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

네 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

세 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

세 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴형성장치.

#### 청구항 9

청구항 1에 있어서,

여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치되는, 액체매개 패턴 형성장치.

#### 청구항 10

곡면 기판 상에 증발대상액체를 도포하는 단계;

상기 증발대상액체를 덮도록 복수의 기둥 부재와 복수의 관통구멍을 포함하는 액체매개 패턴형성장치를 배치하는 단계;

상기 관통구멍들을 통하여 상기 증발대상액체가 증발하는 단계;

상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계;

상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계; 및

상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

#### 청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계에서, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립되는, 액체매개 패턴의 형성방법.

#### 청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계를 수행한 후에, 상기 액체매개 패턴을 열처리하여 그리드 패턴을 형성하는 단계를 더 포함하는, 액체매개 패턴의 형성방법.

#### 청구항 13

청구항 10에 있어서,

상기 증발대상액체는 소듐 도데실 설페이트와 은 나노입자들을 포함하는 수용액으로 구성된, 액체매개 패턴의 형성방법.

#### 청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 은 나노입자들은 10 nm 내지 10  $\mu$ m 범위의 선폭을 가지는, 액체매개 패턴의 형성방법.

#### 청구항 15

청구항 제10항 내지 청구항 제14항 중의 한 항에 따른 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성된 액체매개 패턴.

#### 청구항 16

거울 부재; 및

상기 거울 부재 상에, 청구항 제14항 내지 청구항 제18항 중의 한 항에 따른 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴 히터;를 포함하는, 발열 거울.

#### 청구항 17

표면에 곡면이 형성된 기재; 및

상기 모재 상에, 청구항 제14항 내지 청구항 제18항 중의 한 항에 따른 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴으로 구성된 유연 투명전극;을 포함하는, 투명전극 곡면 장치.

#### 청구항 18

마스터 몰드 상에 몰드형성용 액상 물질을 투입하고, 소프트 리소그래피 방법을 이용하여 제1 몰드주형부재를 형성하는 단계;

상기 제1 몰드주형부재를 희생층이 형성된 기판 상에 부착하는 단계;

상기 제1 몰드주형부재를 진공처리하여, 상기 제1 몰드주형부재의 내부 공간을 제1 압력 상태로 형성하는 단계;

상기 제1 몰드주형부재의 외측에 액상물질을 접촉시키고, 상기 제1 몰드주형부재의 외측을 상기 제1 압력 상태에 비하여 높은 제2 압력 상태로 형성하여, 상기 액상물질을 상기 제1 몰드주형부재의 상기 내부 공간으로 압력차에 의하여 주입시키는 단계;

상기 액상물질을 1차 경화시켜 경화체를 형성하는 단계;

상기 제1 몰드주형부재를 제거하는 단계; 및

상기 희생층을 제거하여 상기 기판으로부터 상기 경화체를 분리하여 액체매개 패턴형성장치를 형성하는 단계;를 포함하고,

상기 액체매개 패턴형성장치는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함하는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

#### 청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 제1 몰드주형부재를 제거한 후에,

상기 경화체를 2차 경화하여 최종 경화를 완료하는 단계;를 더 포함하는,

액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

#### 청구항 20

기판 상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 제2 몰드주형부재를 부착하는 단계;

상기 주형구를 통하여 상기 제2 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계;

상기 액상물질을 경화시켜 경화체를 형성하는 단계; 및

상기 제2 몰드주형부재로부터 상기 경화체를 분리하여, 이에 따라 관통구멍들이 구비된 유연 모재와 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 기둥부재들이 형성되는 단계;를 포함하는, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 패턴 형성 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법, 및 액체매개 패턴에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 전자 장치를 형성하기 위하여는 다양한 물질 패턴을 형성할 필요가 있다. 이러한 물질 패턴 형성 방식에는 탑-다운(Top-down) 방식과 바텀-업(Bottom-up) 방식이 있다.

[0003] 상기 탑-다운 방식은 물질을 제거하는 방식으로, 반도체 공정에 일반적으로 사용하는 포토 리소그래피 기술 등이 포함된다. 상기 탑-다운 방식의 장점으로는 마이크로/나노 크기와 같은 미세 크기에서의 제어가 수월하고, 패턴을 원하는 곳에 용이하게 위치시킬 수 있는 정밀성과 장기간의 반도체 공정 기술 발전에 따른 대중성이 있다. 상기 탑-다운 방식의 단점으로는 노광, 식각, 증착 등과 같이 많은 일련의 공정을 수행하여야 하는 복잡성과 제조 공정에서 산 물질이나 염기 물질을 필요로 하고 고온 및 고압을 필요로 하는 위험성과 패턴을 위하여 이용 가능한 물질이 상당히 제한적인 제한성이 있다.

[0004] 상기 액체 기반 바텀-업 방식을 물질을 축적하여 쌓아올리는 방식으로, 스핀 코팅이나 딥 코팅 기술 등이 포함된다. 상기 액체 기반 바텀-업 방식의 장점으로는, 가혹하지 않은 제조 환경 하에 수행될 수 있으므로, 유기 물질, 나노 물질, 양자 점 물질, 바이오 물질 등 다양한 물질의 패턴닝이 가능한 다양성과 제조 장치의 구성이 상대적으로 간단하므로, 경제성과 간편성이 있다. 상기 액체 기반 바텀-업 방식의 단점으로는, 아직은 실제 산업 환경에서 폭넓게 사용되지 못하는 연구 단계이며, 미세 크기에서 액체 조작 기술의 부재한 문제점이 있다.

[0005] 또한, 액체 매개 패턴닝 기술로는, 미세 크기의 홈이 형성된 도장을 찍는 방식인 스탬핑 방식이 있으나, 나노 크기의 패턴을 형성하는 경우 도장의 제조 가격이 기하 급수적으로 증가되는 한계가 있다. 또한, 두 기판 사이 표면 장력에 의해 생성된 공기-액체 계면의 나노 치수를 이용한 나노입자 패턴닝 기술이 있으나, 단일 계면 제어에 의한 대면적 처리가 어려운 한계가 있다.

[0006] 따라서, 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 물질 패턴 형성기술이 요구된다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국특허공개번호 제10-2018-0009240호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 다양한 물질에 적용가능하고, 높은 생산성과 경제성을 가지는 액체매개 패턴형성장치, 그 제조 방법, 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법, 및 액체매개 패턴을 제공 하는 것이다.

[0009] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함한다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 기둥부재들은, 인쇄 대상체에 접촉하여, 상기 유연 모재와 상기 인쇄 대상체 사이에 증발대상액체를 수용하여, 상기 증발대상액체의 증발에 의하여 액체매개 패턴이 형성될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 기둥부재들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 관통구멍들은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 네 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 사각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 세 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구

멍이 배치될 수 있다.

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 세 개의 상기 기둥부재들과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 여섯 개의 상기 기둥부재들이 형성하는 단위 삼각형의 내부에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.
- [0019] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴의 형성방법은, 곡면 기관 상에 증발대상액체를 도포하는 단계; 상기 증발대상액체를 덮도록 복수의 기둥 부재와 복수의 관통구멍을 포함하는 액체매개 패턴형성장치를 배치하는 단계; 상기 관통구멍들을 통하여 상기 증발대상액체가 증발하는 단계; 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계; 상기 증발대상액체가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계; 및 상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴을 형성하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계에서, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계를 수행한 후에, 상기 액체매개 패턴을 열처리하여 그리드 패턴을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 증발대상액체는 소듐 도테실 설페이트와 은 나노입자들을 포함하는 수용액으로 구성될 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 은 나노입자들은 10 nm 내지 10  $\mu$ m 범위의 선폭을 가질 수 있다.
- [0024] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴은, 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성될 수 있다.
- [0025] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 발열 거울은, 거울 부재; 및 상기 거울 부재 상에, 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴 히터;를 포함할 수 있다.
- [0026] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 투명전극 곡면 장치는, 표면에 곡면이 형성된 모재; 및 상기 모재 상에, 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴으로 구성된 유연 투명전극;을 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법은, 마스터 몰드 상에 몰드형성용 액상 물질을 투입하고, 소프트 리소그래피 방법을 이용하여 제1 몰드주형부재를 형성하는 단계; 상기 제1 몰드주형부재를 회생층이 형성된 기관 상에 부착하는 단계; 상기 제1 몰드주형부재를 진공처리하여, 상기 제1 몰드주형부재의 내부 공간을 제1 압력 상태로 형성하는 단계; 상기 제1 몰드주형부재의 외측에 액상물질을 접촉시키고, 상기 제1 몰드주형부재의 외측을 상기 제1 압력 상태에 비하여 높은 제2 압력 상태로 형성하여, 상기 액상물질을 상기 제1 몰드주형부재의 상기 내부 공간으로 압력차에 의하여 주입시키는 단계; 상기 액상물질을 1차 경화시켜 경화체를 형성하는 단계; 상기 제1 몰드주형부재를 제거하는 단계; 및 상기 회생층을 제거하여 상기 기관으로부터 상기 경화체를 분리하여 액체매개 패턴형성장치를 형성하는 단계;를 포함하고, 상기 액체매개 패턴형성장치는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 액체매개 패턴형성장치의 제조방법은, 상기 제1 몰드주형부재를 제거한 후에, 상기 경화체를 2차 경화하여 최종 경화를 완료하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법은, 기관 상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 제2 몰드주형부재를 부착하는 단계; 상기 주형구를 통하여 상기 제2 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계; 상기 액상물질을 경화시켜 경화체를 형성하는 단계; 및 상기 제2 몰드주형부재로부터 상기 경화체를 분리하여, 이에 따라 관통구멍들이 구비된 유연 모재와 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 기둥부재들이 형성되는 단계;를 포함한다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 제2 몰드주형부재를 부착하는 단계는 상기 기판을 플라즈마 처리하여 이루어질 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 경화체를 형성하는 단계는, 상기 액상물질을 광 조사하여 경화시켜 이루어질 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 관통구멍들이 형성되는 단계는, 상기 제2 몰드주형부재의 최외각 영역을 절단 부재를 이용하여 절단하는 단계; 상기 제2 몰드주형부재에 인력을 작용하여 상기 경화체를 분리하는 단계; 및 상기 제2 몰드주형부재의 상기 돌출부들이 위치한 자리에 상기 관통구멍들과 상기 기둥부재들이 형성되는 단계;를 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0033] 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법은 템플릿으로 가이드된 거품 발생을 이용하여, 곡면 표면들 상에 전도성 그리드들을 직접적으로 단일-단계로 인쇄하는 방법을 제안한다.

[0034] 평평하지 않은 기판 상에서의 우수한 전기적 특성, 기계적 유연성, 및 순응성을 가지는 투명 전도체들이 물질적, 구조적, 및 패턴링의 관점에서 연구되어 왔다. 종래의 나노물질들을 가지는 다양한 스프링형 구조를 가지는 투명 전도체가 특성 향상을 나타내고 있으나, 기본적으로 2차원 기반의 리소그래피 공정을 사용하므로, 곡면 표면들 상에 직접적으로 서브-마이크로 패턴들을 낮은 공정 비용과 높은 처리량으로 인쇄하기에는 한계가 있다.

[0035] 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 유연 템플릿을 이용한 액체-매개 패턴링 방법을 제안한다. 이러한 방법은 귀금속 손실을 최소화하면서, 단일 단계로, 수 분 이내에, 변형을 유발하지 않고, 서브-마이크로 해상도로써, 곡선형의 은 그리드들을 인쇄할 수 있다. 상기 유연 템플릿은 곡면 기판들 상에서 액체 증발에 의하여 후퇴하는 액체-공기 계면들의 배열들을 가이드할 수 있고, 이에 따라 그리드 패턴에 은 나노입자들을 제한시켜 조립하여, 규칙적으로 배열된 2차원 거품 구조를 발생시킨다. 인쇄된 은 그리드들은 우수한 광학적 성능, 전기적 성능, 및 줄-가열 성능들을 나타내고, 이에 따라 투명 히터들에서 적용될 수 있다. 본 발명에 의하면, 존재하는 1차원 마이크로 유동 및 나노 유동 액체-매개 패턴링 방법을 모든 종류의 액체로 형성될 수 있는 기능성 3차원 광전자들을 위한 액체-공기 계면들의 형성함의 3차원 제어에 대하여 적용가능하다.

[0036] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

### 도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 도시하는 개략도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 도시하는 흐름도이다.

도 3 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 도 2의 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 도시하는 흐름도들이다.

도 11 및 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 도시하는 흐름도들이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 예시적으로 도시하는 개략도이다.

도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법을 도시하는 흐름도이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법을 도시하는 개략도이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴의 형성 과정을 시간에 따라 도시하는 개략도이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재들 사이의 거리의 영향을 나타내는 도면들이다.

도 18은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 다양한 형상의 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.

도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 액체매개 패턴을 형성하는 과정을 도시

하는 개략도들 및 사진들이다.

도 20은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 주사 전자현미경 사진들이다.

도 21은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴의 곡면 기관의 종류 및 접촉각에 따른 형상 변화를 나타내는 사진들이다.

도 22는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴에서 증발대상액체의 은 나노입자 농도에 따른 은 그리드의 폭의 변화를 나타낸다.

도 23은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴에서 기둥부재의 지름에 따른 은 그리드의 형성 변화를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

도 24는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 사진이다.

도 25는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴의 전기적 및 광학적 특성들을 나타내는 그래프들이다.

도 26은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 사진들이다.

도 27은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴의 발열 성능을 나타내는 사진들이다.

도 28은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴의 발열 성능을 나타내는 그래프들이다.

도 29는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴이 적용된 자동차의 사이드 거울의 성에 제거 성능을 나타내는 사진들이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.

[0039] 일반적으로, 액체는 외부에서 인가되는 전단 응력 등에 의하여 계속적으로 변형될 수 있다. 이와 반대로, 적절하게 외부 힘을 인가하거나 또는 물리 화학적인 제한을 가하면, 액체의 형상을 원하는 방식으로 변경시킬 수 있다. 액상 물질들을 원하는 위치에 침전시키기 위하여 액체를 형상화하는 것은 역사적으로도 현실적이고 잘 알려진 시도이다. 예를 들어, 액상 잉크에 포함된 안료를 침전시켜 형상을 만드는 방법으로 동양 붓을 사용한 전통 서예가 있다. 이러한 시도들에서, 형상화된 액체는 포함된 액상 물질들을 원하는 위치들에 고정하는 형판으로서 기능할 수 있다. 흥미롭게는, 예를 들어 인쇄와 같은 액체-매개 패턴닝 등의 초창기의 중요한 발명들은 문명 발달에 영향을 주어왔고, 여전히 많은 인쇄 방법들이 산업 현장에서 광범위하게 사용되고 있으며, 최근에는 전자 장치들 및 광전자 장치들에도 적용되는 기술이 개발되었다.

[0040] 최근, 소프트-리소그래피와 같은 마이크로 제조 기술 및 나노 제조 기술들의 개발과 관련되어 마이크로 유동 기술 및 나노 유동 기술이 발달하였고, 이에 따라 액체의 부피와 형상을 마이크로 크기 및 나노 크기에서 제어할 수 있고, 또한 액체-공기 계면들의 이동도 제어할 수 있다. 지금까지, 이러한 기술들은 마이크로 크기의 액체 및 나노 크기의 액체의 제어를 위한 경제적이고 간단한 장비를 제공함으로써, 액체-매개 물질들의 마이크로 패턴닝 및 나노 패턴닝 또는 구조 형성에 획기적으로 기여하였다. 예를 들어, 상기 기술의 구체적인 예시로서 액체들의 직접적인 잉크젯 프린팅, 물리적 제한을 이용한 액체 스탬핑, 화학적 제한을 이용한 선택적인 액체 젖음, 액적의 마이크로 유동 등이 있다.

- [0041] 상기 기술에 대한 새로운 도전 과제는 다음과 같다. 첫째, 액체들의 동적 유동성 및 전환력을 제어하기가 여전히 어려운 점이다. 특히 자유 표면들의 정도가 큰 경우에 그 제어가 더욱 어려우며, 그 이유는 작은 크기에서 높은 표면-부피 비율과 관련되어 내재된 유동 특성들 때문이다. 둘째, 액체의 부피가 변화될 때에, 중간물의 액체 막들 또는 거품들의 형상이 커지는 동안 제어되기 어렵고, 복잡한 방식으로 변화되는 점이다. 셋째, 액체 막들이, 예를 들어 1 초 미만의 매우 빠른 속도로 건조되는 경우, 증발과정에서 액체 패터닝 공정을 제어하기 어려운 점이다. 이러한 상술한 문제점들은 크기 법칙에 의하여 마이크로 크기 및 나노 크기와 같이 더 작은 크기에서 더 두드러진 영향을 나타낸다.
- [0042] 더욱 최근에는, 마이크로 유동 기술 및 나노 유동 기술들과 관련하여, 예를 들어, 용해된 용질들, 폴리머들, 또는 현탁 고상 입자들과 같은 액체-매개 기능성 물질들은, 간단한 바텀-업 공정들에 의하여 다양한 마이크로 크기의 형상의 구조를 가지거나 또는 나노 크기의 형상의 구조를 가질 수 있고, 또한 패턴 형성이 가능하다. 예를 들어, 그래핀 및 생체 물질들의 3 차원 격자들, 마이크로 렌즈 배열 및 접착 패치를 위한 만곡된 폴리머 구조들, 약 300 nm 피쳐 크기의 고해상도를 가지는 전도성 금속 또는 페로브스카이트의 나노 와이어들, 무기 나노 결정들의 나노미터 두께의 막들 등이 알려져 있다. 특히, 이러한 물질들은, 예를 들어, 증착, 포토리소그래피, 및 식각 등과 같은 종래의 복잡한 미세 제조 공정을 수행하지 않으며, 단일 공정과 같은 단순한 공정으로 형성될 수 있고, 추가적인 기능들 및 성능들을 가질 수 있다. 특히, 미세 기둥들, 두 개의 평판들, 및 미세 채널들과 같은 미세하게 제조된 형판들은 물질 공정을 위한 하나의 액체-공기 계면들의 일방향으로 제어에 폭넓게 쓰이고 있다. 더 나아가, 상기 형판들은 추가적인 화학적 반응들 및/또는 처리들과 결합하여 복수의 다방향 액체-공기 계면들을 형성할 수 있다. 결과적으로, 화학적 반응들에 기반한 2 차원 거품과 이방성 표면 젖음에 의하여 유도된 액체 연결 브릿지 배열을 취득할 수 있다. 그러나, 현재까지는, 대면적 기판 상에서의 복수의 분리된 액체-공기 계면들의 동적 성장을 동시에 제어할 수 있는 물리적인 패터닝 공정이 정립되어 있지 않다. 액체 패터닝을 위하여는 용매의 자연 증발 만을 수행하는 것이 더 우수할 수 있으며, 이는 간단하고, 오염되지 않고, 비접촉 수단을 허용하기 때문이고, 가능한 물질들과 샘플 용액들의 조합을 확대할 수 있기 때문이고, 또한 화학적 한계들을 극복하고 부산물들의 형성을 방지할 수 있기 때문이다.
- [0043] 투명 전도체들은 전자들과 포톤들을 적절하게 이송할 수 있으며, 에너지 하베스팅 장치, 발광 다이오드 장치, 접촉 센서, 히터 등과 같은 많은 광전자 장치들을 구성하는 중요한 구성요소이다. 특히, 곡면 표면에 배치된 투명 전도체들은, 바이오 센서, 바이오 집적 전자장치, 및 스마트 콘택트 렌즈 등과 같은 3차원 기능성 광전자 장치들의 제조에 적용될 수 있는 가능성이 높으며, 이는 종래의 평면 고체 장치들을 능가할 수 있다. 따라서, 취성을 가지는 종래의 인듐 주석 산화물(ITO)계 투명 전도체들에 비하여, 곡면 기판에서 더 우수한 기계적 유연성과 순응성을 구현할 수 있는 투명 전도체들에 대한 연구가 지속되고 있다. 상기 투명 전도체들에 대한 많은 기술적 발전이 물질, 구조, 및 패터닝 기술에 관하여 이루어졌다. 탄소 물질들, 이온 히드로젤들, 금속 나노와이어들, 및 나노입자들을 포함하는 나노물질들로 패터닝된 스프링형 구조가 개선된 투명 전도체들에 효과적인이 증명되었다. 그러나, 상기 스프링형 구조의 물질들을 3차원 표면에 인쇄하거나 또는 패터닝하는 기술은 만족스럽지 않으며, 그 이유는 적용하는 표준 리소그래피 공정이 2차원 회로 설계를 기반하기 때문이다.
- [0044] 따라서, 포토리소그래피를 대체하는 기술로서, 두 가지 형태의 3차원 등각(conformal) 인쇄 기술이 제안되고 있다.
- [0045] 첫 번째는, 소프트 스탬프 인쇄법(soft stamp printing, SSP)이다. 상기 소프트 스탬프 인쇄는 접촉에 의한 인쇄 단계와 이송 후 인쇄 단계를 포함한다. 상기 소프트 스탬프의 유연성을 이용하여 물질의 초기 평면 패턴들을 곡선 패턴으로 변형시킬 수 있다. 그러나, 상기 소프트 스탬프 인쇄법이 적절한 해상도와 균일한 패턴들을 구현하기 위하여 잘 구축된 평면 제조 공정들을 이용할 수 있으나, 복잡한 복수 단계의 제조 공정들을 사용하여야 하고, 기계적 응력의 발생을 피할 수 없다.
- [0046] 두 번째는, 잉크젯 인쇄와 전자수동력학 인쇄를 포함하는 디지털 인쇄법이다. 상기 디지털 인쇄법은 복잡한 표면에 패턴들을 직접적으로 인쇄할 수 있으므로, 상기 첫 번째 방법의 한계를 극복할 수 있다. 상기 디지털 인쇄법은 최근 해상도가 개선되었으므로, 가능성이 많다. 그러나, 곡면 표면들 상에 서브-마이크로 패턴들을 직접적으로 인쇄하는 것에 대하여 공정 비용을 감소시키고, 처리량을 증가시켜야 한다.
- [0047] 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 미세 유동 기술에 기반하고, 액체-매개 패터닝 방법과 소프트 스탬프 인쇄 방법을 결합한 액체매개 패턴형성장치 및 이를 이용한 액체매개 패턴 형성 방법을 제안한다.
- [0048] 상기 액체-매개 패터닝 방법은 액체의 변형 용이성을 이용하여 3차원 등각 인쇄에 적용시킬 수 있다. 다만, 마이크로 미터 크기와 나노 미터 크기에서는 크기의 한계에 기인하여 동적 유동 하에서 계면을 제어하는 것은 매

우 어렵다. 따라서, 액체-매개 패터닝 방법을 개선한 방식으로, 플렉서블 및 모놀리식 설계를 이용한 액체매개 패터닝형성방법을 제안하며, 이를 템플릿 유도 거품법(template-guided foaming, TGF)으로 지칭할 수 있다.

[0049] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패터닝형성장치(100)를 도시하는 개략도이다.

[0050] 도 1의 (a)는 액체매개 패터닝형성장치(100)의 개략도이고, (b)는 액체매개 패터닝형성장치(100)의 주사전자현미경 사진이다.

[0051] 도 1을 참조하면, 액체매개 패터닝형성장치(100)는 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들(120)을 포함하는 유연 모재(110), 및 관통구멍들(120) 사이에 배치되고, 유연 모재(110)로부터 돌출된 복수의 기둥부재들(130)을 포함한다.

[0052] 액체매개 패터닝형성장치(100)는 유연성을 가지므로, 구부러져 곡률 반경을 가지는 곡면 기판과 전체적으로 접촉하도록 배치될 수 있고, 이에 따라 곡면을 가지는 액체매개 패터를 형성할 수 있다.

[0053] 기둥부재들(130)은, 인쇄 대상체에 접촉하여, 유연 모재(110)와 상기 인쇄 대상체 사이에 증발대상액체를 수용하여, 상기 증발대상액체의 증발에 의하여 액체매개 패터가 형성될 수 있다.

[0054] 유연 모재(110)와 기둥부재들(130)은 동일한 물질을 포함할 수 있고, 또는 서로 다른 물질을 포함할 수 있다. 유연 모재(110)와 기둥부재들(130)은 유연성을 가지는 다양한 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 상업적으로 구할 수 있는 노랜드 프로덕트사(Norland Products)의 NOA 63, 머센랩사(MERCENE LABS)의 오스테머(ostemer)를 포함할 수 있다. 또한, 유연 모재(110)와 기둥부재들(130)은 소프트 리소그래피 방식으로 마이크로 구조물을 본뜬 수 있는 모든 물질을 포함할 수 있다.

[0055] 관통구멍들(120)은 증발대상액체를 외부로 증발시키고, 액체-공기 계면을 생성시키는 위치를 제공하는 기능을 수행할 수 있다. 관통구멍들(120)은 외부 습도 조절을 통하여 상기 증발대상액체가 빠르게 또는 천천히 증발시키는 역할을 수행할 수 있다. 또한, 관통구멍들(120)은 증발에 의하여 형성되는 상기 액체-공기 계면들을 원하는 위치에서 생성되도록 유도하는 역할을 수행할 수 있다.

[0056] 기둥부재들(130)은 관통구멍들(120) 사이에 배치되고, 액체-공기 계면들을 고정하는 액체고정위치로서 기능한다. 기둥부재들(130)은 인접한 관통구멍들(120)이 형성한 도형의 내부에 위치할 수 있고, 예를 들어 상기 도형의 중심에 위치할 수 있다.

[0057] 유연 모재(110), 관통구멍들(120), 및 기둥부재들(130)와 관련된 치수는 어떠한 제한 없이 다양한 크기를 가질 수 있다. 유연 모재(110)는, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위의 두께를 가질 수 있다. 관통구멍들(120)은, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위의 지름을 가질 수 있고, 예를 들어 유연 모재(110)와 동일한 높이, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위의 높이를 가질 수 있다. 기둥부재들(130)은, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위의 지름을 가질 수 있고, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위의 높이를 가질 수 있다. 기둥부재들(130) 사이의 거리는, 예를 들어 10  $\mu\text{m}$  내지 1000  $\mu\text{m}$  범위일 수 있다. 그러나, 이러한 치수들은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0058] 관통구멍들(120)과 기둥부재들(130)의 배치와 액체매개 패터를 형성하는 과정에 대하여는 하기에 상세하게 설명하기로 한다.

[0059] 상기 증발대상액체는 액체매개 패터를 형성하는 물질을 포함할 수 있고, 증발이 용이한 물질을 기반으로 구성될 수 있다. 상기 증발대상액체는 패터닝을 원하는 타겟 용질과 상기 타겟 용질을 매개할 액체 용매를 포함하여 구성될 수 있다. 또한, 상기 증발대상액체는 상기 액체 용매에 따른 적절한 거품을 형성하는 계면 활성제를 더 포함할 수 있다. 상기 증발대상액체는 증발성 용매, 상기 액체매개 패터를 형성하는 용질, 및 계면 활성제를 포함할 수 있다. 상기 증발대상액체는 상기 액체 용매로서, 물, 알코올, 및 다양한 유기 용매들을 포함할 수 있고, 또한 상기 액체 용매에 용해되거나 현탁되는 등의 방법으로 섞일 수 있는 다양한 액체상 또는 고체상의 용질들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 증발대상액체는 폴리스틸렌 나노입자, 폴리비닐알코올, 폴리아크릴산, 또는 텍스트란을 포함할 수 있다. 상기 증발대상액체는 계면 활성제로서, 예를 들어 플루로닉(Pluronic F-127)을 포함할 수 있다. 상기 폴리스틸렌 나노입자는, 예를 들어 200 nm 내지 500 nm 범위의 직경을 가질 수 있다. 그러나, 이러한 물질들은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0060] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패터닝형성장치의 제조방법(S100)을 도시하는 흐름도이다.

[0061] 도 2를 참조하면, 액체매개 패터닝형성장치의 제조방법(S100)은, 마스터 몰드 상에 몰드형성용 액상 물질을 투입

하고, 소프트 리소그래피 방법을 이용하여 제1 몰드주형부재를 형성하는 단계(S110); 상기 제1 몰드주형부재를 희생층이 형성된 기판 상에 부착하는 단계(S120); 상기 제1 몰드주형부재를 진공처리하여, 상기 제1 몰드주형부재의 내부 공간을 제1 압력 상태로 형성하는 단계(S130);

[0062] 상기 제1 몰드주형부재의 외측에 액상물질을 접촉시키고, 상기 제1 몰드주형부재의 외측을 상기 제1 압력 상태에 비하여 높은 제2 압력 상태로 형성하여, 상기 액상물질을 상기 제1 몰드주형부재의 상기 내부 공간으로 압력차에 의하여 주입시키는 단계(S140); 상기 액상물질을 1차 경화시켜 경화체를 형성하는 단계(S150); 상기 제1 몰드주형부재를 제거하는 단계(S160); 및 상기 희생층을 제거하여 상기 기판으로부터 상기 경화체를 분리하여 액체매개 패턴형성장치를 형성하는 단계(S170);를 포함한다.

[0063] 또한, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S100)은, 상기 제1 몰드주형부재를 제거한 후에, 상기 경화체를 2차 경화하여 최종 경화를 완료하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0064] 상기 액체매개 패턴형성장치는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들을 구비하는 유연 모재; 및 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 복수의 기둥부재들;을 포함한다.

[0065] 도 3 내지 도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 도 2의 액체매개 패턴형성장치의 제조방법을 도시하는 흐름도들이다.

[0066] 도 3을 참조하면, 마스터 몰드(10)를 제공한다. 마스터 몰드(10)는 관통구멍들(120)과 기둥부재들(130)에 상응하는 형상을 각각 가지는 함몰영역(11)과 돌출영역(12)을 포함한다.

[0067] 도 4를 참조하면, 상기 S110 단계로서, 마스터 몰드(10) 상에 몰드형성용 액상 물질을 투입하여 소프트 리소그래피 방법을 이용하여 제1 몰드주형부재(20)를 형성한다. 제1 몰드주형부재(20)는 마스터 몰드(10)와 서로 반대인 형상을 가질 수 있다.

[0068] 도 5를 참조하면, 상기 S120 단계로서, 제1 몰드주형부재(20)를 희생층(32)이 형성된 기판(30) 상에 부착한다. 희생층(32)은 수용성 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 PVA (Polyvinyl alcohol)를 포함할 수 있다. 제1 몰드주형부재(20)와 기판(30) 사이에는 내부 공간(34)이 형성될 수 있다. 내부 공간(34)의 형상은 마스터 몰드(10)의 형상과 상응할 수 있다.

[0069] 도 6을 참조하면, 상기 S130 단계로서, 제1 몰드주형부재(20)를 진공처리하여, 제1 몰드주형부재(20)의 내부 공간(34)을 제1 압력 상태로 형성한다. 상기 제1 압력 상태는 대기압에 비하여 낮은 압력일 수 있다. 상기 진공 처리는 진공 장치가 연결되어 진공 환경을 형성하는 공간 내에 제1 몰드주형부재(20)를 장입하여 구현할 수 있다.

[0070] 도 7을 참조하면, 상기 S140 단계로서, 제1 몰드주형부재(20)의 외측에 액상물질(42)을 접촉시키고, 제1 몰드주형부재(20)의 외측을 상기 제1 압력 상태에 비하여 높은 제2 압력 상태로 형성하여, 액상물질(42)을 제1 몰드주형부재(20)의 내부 공간(34)으로 압력차에 의하여 주입시킨다. 액상물질(42)의 주입은 화살표로서 도시되어 있다. 상기 제2 압력 상태는 대기압일 수 있다. 즉, 제1 몰드주형부재(20)를 상술한 진공 환경으로부터 대기압 환경으로 위치를 변경하여, 상기 압력차를 구현시킬 수 있다.

[0071] 도 8을 참조하면, 상기 S150 단계로서, 내부 공간(34)에 주입된 액상물질(42)을 1차 경화시켜 경화체(40)를 형성한다. 상기 1차 경화는 자외선을 이용하여 액상물질(42)이 경화되어 경화체(40)를 형성하여 이루어질 수 있다.

[0072] 도 9를 참조하면, 상기 S160 단계로서, 제1 몰드주형부재(20)를 제거한다. 이어서, 선택적으로 경화체(40)를 2차 경화하여 최종 경화를 완료할 수 있다. 상기 2차 경화는 열처리를 이용하여 수행될 수 있다.

[0073] 도 10을 참조하면, 상기 S170 단계로서, 희생층(32)을 제거하여, 기판(30)으로부터 경화체(40)를 분리하여 액체매개 패턴형성장치(100)를 형성한다.

[0074] 패턴형성장치(100)는, 유연성을 가지고, 복수의 관통구멍들(120)을 구비하는 유연 모재(110); 및 관통구멍들(120) 사이에 배치되고, 유연 모재(110)로부터 돌출된 복수의 기둥부재들(130)을 포함할 수 있다.

[0075] 액체매개 패턴형성장치(100)는 하기의 도 11 및 도 12에 의하여 설명하는 바와 같은 방법에 의하여도 형성될 수 있다.

[0076] 도 11 및 도 12는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S200)을 도시하는 흐름도들이

다.

- [0077] 도 11을 참조하면, 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S200)은, 기관 상에 돌출부들과 주형구를 포함하는 제2 몰드주형부재를 부착하는 단계(S210); 상기 주형구를 통하여 상기 제2 몰드주형부재의 내부 공간에 액상물질을 주입하는 단계(S220); 상기 액상물질을 경화시켜 경화체를 형성하는 단계(S230); 및 상기 제2 몰드주형부재로부터 상기 경화체를 분리하여, 이에 따라 관통구멍들이 구비된 유연 모재와 상기 관통구멍들 사이에 배치되고, 상기 유연 모재로부터 돌출된 기둥부재들이 형성되는 단계(S240);를 포함한다.
- [0078] 상기 제2 몰드주형부재를 부착하는 단계(S210)는 상기 기관을 플라스마 처리하여 부착력을 형성하여 이루어질 수 있다. 상기 플라스마는 산소 플라스마일 수 있고, 그러나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0079] 상기 경화체를 형성하는 단계(S230)는, 상기 액상물질을 광 조사하여 경화시켜 이루어질 수 있다. 상기 광은 자외선일 수 있고, 그러나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0080] 도 12를 참조하면, 상기 관통구멍들이 형성되는 단계(S240)는, 상기 제2 몰드주형부재의 최외각 영역을 절단 부재를 이용하여 절단하는 단계(S242); 상기 제2 몰드주형부재에 인력(引力)을 작용하여 상기 경화체를 분리하는 단계(S244); 및 상기 제2 몰드주형부재의 상기 돌출부들이 위치한 자리에 상기 관통구멍들과 상기 기둥부재들이 형성되는 단계(S246);를 포함한다.
- [0081] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치의 제조방법(S200)을 예시적으로 도시하는 개략도이다.
- [0082] 도 13의 (a)를 참조하면, 액체매개 패턴형성장치(100)를 제조하기 위하여 미세 유동 몰드 구조체(200)를 준비한다. 미세 유동 몰드 구조체(200)는 유리 등으로 구성된 기관(210) 상에 배치된 제2 몰드주형부재(220)를 포함한다. 제2 몰드주형부재(220)는 복수의 미세한 크기의 돌출부들(230) 및 주형구(240)를 포함한다. 돌출부들(230)에 의하여, 액체매개 패턴형성장치(100)에 구비되는 관통구멍들 및 기둥부재들이 형성된다. 주형구(240)를 통하여 액체매개 패턴형성장치(100)를 구성하는 액상 물질이 투입될 수 있다. 제2 몰드주형부재(220)는 폴리디메틸실록산으로 구성될 수 있다. 제2 몰드주형부재(220)는 폴리디메틸실록산 경화제 및 기저제(Sylgard 184, Dow Corning)를 1:10의 비율로 포함하는 혼합물을 이용하여 일반적인 소프트 리소그래피 공정으로 준비할 수 있다. 제2 몰드주형부재(220)는 산소 플라스마를 이용한 표면 처리된 기관(210)에 부착되고, 이에 따라 미세 유동 몰드 구조체(200)를 완성할 수 있다.
- [0083] 도 13의 (b)를 참조하면, 미세 유동 몰드 구조체(200)에 주형구(240)를 통하여 액체매개 패턴형성장치(100)를 구성하는 액상 물질(252)을 투입한다. 액상 물질(252)은 폴리우레탄 아크릴레이트(MINS-311RM, Minuta technology)를 이용할 수 있다. 액상 물질(252)은 미세 유동 몰드 구조체(200)의 빈 공간, 구체적으로 기관(210)과 제2 몰드주형부재(220) 사이의 공간을 충전한다. 이어서, 질소 환경에서 자외선을 조사하여 액상 물질(252)을 경화시켜, 경화체(140)를 형성한다. 여기에서, 상기 자외선 경화 중에 발생할 수 있는 산소에 의한 방해를 방지하기 위하여, 미세 유동 몰드 구조체(200)를 약 20 Pa의 진공에서 약 20분 동안 진공 처리한 후 상기 경화를 수행하였다. 경화를 위한 자외선은 예시적이며, 본 발명은 이에 한정되지 않고 상기 액상 물질을 경화시킬 수 있는 모든 광을 포함한다. 경화체(140)는 돌출부들(230)에 의하여 미세 유동 몰드 구조체(200)에 대하여 상보적인 형상을 가질 수 있다.
- [0084] 도 13의 (c)를 참조하면, 제2 몰드주형부재(220)와 경화체(140)를 분리한다. 제2 몰드주형부재(220)로부터 경화체(140)를 분리하기 위하여, 플라스마 활성화되어 기관(210)에 부착된 제2 몰드주형부재(220)의 최외각 영역을 메스와 같은 절단 부재(290)를 이용하여 절단 영역(적색으로 표시됨)을 형성하여 절단할 수 있다.
- [0085] 도 13의 (d)를 참조하면, 제2 몰드주형부재(220)에 인력(引力)을 작용하여 경화체(140)를 분리하면, 돌출부들(230) 또한 경화체(140)에서 분리될 수 있다. 기관(210)을 경화체(140)로부터 분리하면, 잔류하는 돌출부들(230)의 부분 등은 기관(210)과 함께 경화체(140)로부터 제거될 수 있다. 돌출부들(230)이 위치한 자리에 관통구멍들(120)과 기둥부재들(130)이 형성된다.
- [0086] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법(S300)을 도시하는 흐름도이다.
- [0087] 도 15는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴의 형성방법(S300)을 도시하는 개략도이다.
- [0088] 도 14 및 도 15를 참조하면, 액체매개 패턴의 형성방법(S300)은, 곡면 기관(150) 상에 증발대상액체(160)를 도포하는 단계(S310); 증발대상액체(160)를 덮도록 복수의 기둥 부재와 복수의 관통구멍을 포함하는 액체매개 패

턴형성장치(100)를 배치하는 단계(S320); 상기 관통구멍들을 통하여 증발대상액체(160)가 증발하는 단계(S330); 증발대상액체(160)가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각의 주위를 둘러싸는 액체-공기 계면들 각각이 형성되는 단계(S340); 증발대상액체(160)가 증발하면서, 상기 관통구멍들 각각으로부터 멀어지는 방향으로 상기 액체-공기 계면들 각각이 확장하는 단계(S350); 및 상기 액체-공기 계면들이 확장하여 서로 접촉하고, 상기 기둥부재들에 의하여 고정되어, 액체매개 패턴(190)을 형성하는 단계(S360);를 포함한다.

- [0089] 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S360)는, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립될 수 있다. 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계는 70% 초과 내지 95% 이하의 상대습도 분위기 하에서 수행될 수 있다.
- [0090] 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S360)에서, 상기 액체매개 패턴에 의하여 상기 증발대상액체에 포함된 용질이 갇히게 되고, 상기 액체매개 패턴의 형상에 따라 상기 용질이 자기조립될 수 있다.
- [0091] 상기 액체매개 패턴을 형성하는 단계(S360)를 수행한 후에, 상기 액체매개 패턴을 열처리하여 그리드 패턴을 형성하는 단계를 더 수행할 수 있다.
- [0092] 상기 증발대상액체는 소듐 도데실 설페이트와 은 나노입자들을 포함하는 수용액으로 구성될 수 있다. 상기 은 나노입자는, 예를 들어 10 nm 내지 10  $\mu$ m 범위의 선폭을 가질 수 있고, 예를 들어 50 nm의 크기를 가질 수 있다. 그러나, 이는 예시적이며 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0093] 예를 들어, 상기 은 나노 입자들 외에도, 금속입자, 페로브스카이트 물질, 폴리머, 퀀텀닷, 나노물질, 등 수용액에 분산이 되는 다양한 물질을 사용할 수 있다. 곡면 기관 상에 패턴 된 다양한 물질의 나노 크기의 그리드는 다양한 응용이 가능하다. 예를 들어 페로브스카이트 물질의 경우에는 광 센서에 적용될 수 있고, 금속 입자의 경우에는, 투명전극에 적용될 수 있고, 퀀텀닷의 경우에는 LED에 적용될 수 있다.
- [0094] 도 16은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴(190)의 형성 과정을 시간에 따라 도시하는 개략도이다.
- [0095] 도 16을 참조하면, 액체매개 패턴형성장치(100, 도 15 참조)와 곡면 기관(150, 도 15 참조) 사이의 공간에 증발대상액체(160)를 채운 후에, 증발대상액체(160)가 증발하는 동안에 액체-공기 계면(170)이 성장하여 액체매개 패턴(190)을 형성하는 과정이 나타나 있다.
- [0096] 전 과정을 정리하면, 증발대상액체(160)가 관통구멍들(120)을 통하여 증발되어 제거되면서, 액체-공기 계면(170)이 형성되고, 액체-공기 계면(170)이 확장되어 액체매개 패턴(190)이 형성된다.
- [0097] 도 16의 (a)를 참조하면, 초기에는, 즉 증발을 시작한 직후에는 관통구멍들(120)의 하측에서, 두꺼운 흑색 선으로 표시된 바와 같은 관통구멍들(120)을 둘러싸는 액체-공기 계면(170)이 형성된다. 청색 영역은 증발대상액체(160)를 나타내고, 흰색 영역은 공기를 나타낸다.
- [0098] 도 16의 (b)를 참조하면, 증발을 시작한지 일정 시간이 지난 후에는, 증발대상액체(160)가 관통구멍들(120)을 통하여 증발해가면서, 증발대상액체(160)가 점진적으로 제거되고, 이에 따라 액체-공기 계면(170)이 확장된다. 관통구멍들(120)을 둘러싸서 중앙집중방식으로 원기둥 형상의 액체-공기 계면(170)이 균일하게 측방향으로 성장한다. 미세한 크기이므로 표면 장력이 강하게 나타나며, 증발대상액체(160)가 수직 방향이 아닌 수평 방향으로 줄어들게 된다.
- [0099] 도 16의 (c)를 참조하면, 증발을 더 진행되면, 증발대상액체(160)의 증발이 계속 진행됨에 따라, 평활한 액체-공기 계면(170)들은 기둥부재들(130)과 접촉하여 고정되고, 이에 따라 격자 형상을 나타낸다. 인접한 액체-공기 계면(170)들은 서로 접촉하게 되고, 원형에서 사각형 형상으로 변형되기 시작한다.
- [0100] 도 16의 (d)를 참조하면, 증발대상액체(160)이 증발이 계속 진행되어 증발이 완료되면, 기둥부재들(130) 사이에 액체매개 패턴(190)이 형성되고, 액체매개 패턴(190)의 두께가 얇아지게 된다. 하나의 기둥부재(140)와 네 개의 평활한 경계들은 네 개의 수직 막을 형성하게 된다. 액체매개 패턴(190)은 층판(lamella) 구조들 및 평활(plateau) 경계들을 가진다. 여기에서, 기둥부재들(130)은 액체매개 패턴(190)을 고정하는데 중요한 기능을 수행함을 알 수 있다. 액체매개 패턴(190)이 파괴되지 않는 이유는 수백 나노 미터 두께의 비누방울막이 유지되는 원리와 동일하다. 특히, 증발대상액체(160)에 포함된 계면활성제가 계면을 안정화시킨다.
- [0101] 도 17은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 액체매개 패턴에 대한 기둥부재들 사이의 거리의 영향을 나타내는 도면들이다.

- [0102] 도 17의 (a)를 참조하면, 관통구멍들(120)을 통한 증발대상액체(160)의 직접 증발의 모델링이 도시되어 있다. 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )과 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )는 잘 정렬된 액체매개 패턴(190)을 얻기 위한 중요한 요소임을 알 수 있다. 기둥부재들(130)이 정사각형 형상으로 설계되고, 또한 관통구멍들(120)이 정사각형 형상으로 설계되어 있으며, 관통구멍들(120)로부터 형성된 액체-공기 계면(170)들이 균일하게 성장하여 서로 접촉하게 된다. 상기 설계에 따른 배열은 기본 단위로서 네 개의 기둥부재들(130)과 하나의 관통구멍(160)을 가지며, 이하에서는 "4P1H"로 지칭하기로 한다. 여기에서, 액체-공기 계면(170)들에 의하여 형성된 거품(172)의 반경( $r_b$ )은 하기의 식과 같이 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ ) 및 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )에 의하여 결정된다.
- [0103] 
$$r_b = (r_p + d/2) \tan (\Theta/2)$$
- [0104] 여기에서,  $\Theta$ 는 기둥부재들(130)의 배열을 구성하는 다각형의 각도이고, 예를 들어 4P1H 배열에서는,  $\Theta$ 는  $\pi/2$ 이다.
- [0105] 제한된 증발대상액체(160) 영역(청색으로 표시됨)의 중심에서의 기둥부재들(130)의 이상적인 반경(적색 점선원으로 표시됨)은  $r_i$  이고, 기하학적 관계는 다음과 같다.
- [0106] 
$$r_i / (d/2 + r_p) = \sec (\Theta/2) - \tan (\Theta/2)$$
- [0107] 여기에서,  $d$ 는 기둥부재들(130) 사이의 거리이고,  $\Theta$ 는 기둥부재들(130)의 배열을 구성하는 다각형의 각도이다.
- [0108] 상기 관계에 의하여 상기 액체매개 패턴은 삼각형, 사각형, 또는 육각형과 같은 다각형이 규칙적으로 배열된 형태를 가질 수 있다.
- [0109] 도 17의 (b)를 참조하면, 상술한 정사각형 배열에서 두 가지 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )에 대하여 시간에 따라 변화되는 액체-공기 계면(170)을 나타낸다. 좌측은 결함이 없는 액체매개 패턴이 형성된 경우이고, 우측은 결함이 있는 액체매개 패턴이 형성된 경우이다. 상기 4P1H 배열에서, 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )이  $30 \mu\text{m}$  이고, 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )가  $50 \mu\text{m}$  인 경우에는 기둥부재들(130)의 이상적인 반경( $r_i$ )은  $22.78 \mu\text{m}$  이 되며, 따라서  $r_i < r_p$  가 된다. 이와 같이,  $r_i < r_p$  경우에는, 도 17의 (b)의 좌측 도면과 같이, 잘 정렬된 사각형의 격자 패턴이 형성되었다.
- [0110] 반면, 동일한 4P1H 배열에서, 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )를 변화시키면, 기둥부재들(130)의 이상적인 반경( $r_i$ )이 변화된다. 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )이  $30 \mu\text{m}$  이고, 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )가  $200 \mu\text{m}$  인 경우에는 기둥부재들(130)의 이상적인 반경( $r_i$ )은  $53.85 \mu\text{m}$  가 되며, 따라서  $r_i > r_p$  가 된다. 이와 같이,  $r_i > r_p$  경우에는, 도 17의 (b)의 우측 도면과 같이, 세 개의 평활 경계들이 기둥부재들(130)의 위치를 벗어나서 접촉하는 액체 교차점들이 많이 발견되었다. 상기 실험 결과들을 기초로 하여, 격자 패턴 내에 패턴되지 않은 선, 즉 결함의 갯수를 세어서 분석하였다.
- [0111] 도 17의 (c)를 참조하면, 반경 차이의 변화에 대한 결함 갯수의 변화를 나타내는 그래프이다. 상기 그래프는 가로  $8 \text{ mm}$  세로  $8 \text{ mm}$ 의 전체 공간에서의 결함 발생을 정량화한 그래프이다. 상기 반경 차이는  $\Delta r (= r_i - r_p)$ 로 표시되어 있다. 반경 차이( $\Delta r$ )가 증가함에 따라 결함의 개수가 증가함을 알 수 있다. 또한, 상기 증가의 정도는 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )가 작을수록 크게 나타났다.
- [0112] 도 17의 (d)를 참조하면, 도 17의 (c)의 결과를 기초로 하여, 무차원화한 반경 차이의 변화에 대한 결함 갯수의 변화를 나타내는 그래프이다. 상기 무차원화는 반경 차이( $\Delta r$ )를 거품(172)의 반경( $r_b$ )으로 나누어 수행하였다. 무차원화를 수행한 후에는, 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )가  $130 \mu\text{m}$  및  $200 \mu\text{m}$  에 각각 상응하는 그래프들이 잘 중첩됨을 알 수 있다.
- [0113] 도 17의 분석에 의하면, 액체매개 패턴(190)을 결함없이 형성하기 위하여는 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )과 기둥부재들(130) 사이의 거리( $d$ )가 중요한 요소임을 알 수 있다. 기둥부재들(130)의 반경이 작아지고, 기둥부재들(130) 사이의 거리가 커질수록, 결함이 형성되는 경향이 강해짐을 알 수 있다. 또한, 액체-공기 계면(170)들이 서로 접촉하기 전에, 액체-공기 계면(170)들을 고정하기 위하여, 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )이 기둥부재들(130)의 이상적인 반경( $r_i$ )에 비하여 큰 값을 가져야 함을 알 수 있다.

- [0114] 기둥부재들(130)의 반경( $r_p$ )이 기둥부재들(130)의 이상적인 반경( $r_i$ )에 비하여 큰 경우에는, 기둥부재들(130)이 삼각형 또는 사각형으로 배치된 경우에는 결합을 형성하지 않을 수 있다. 그러나, 기둥부재들(130)이 육각형으로 배치된 경우에는 평활 법칙(plateau's Law)를 따르게 되므로, 이러한 규칙이 적용되지 않을 수 있다.
- [0115] 관통구멍들(120)과 기둥부재들(130)은 다양한 방식으로 배열될 수 있으며, 예를 들어 하기의 도 18에 도시된 바와 같은 방식으로 배열될 수 있다. 기둥부재들(130)은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다. 여기에서 상기 단위 다각형은 인접한 기둥부재들(130)이 형성하는 다각형을 의미한다. 기둥부재들(130)로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 유연 모재(110) 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다. 또한, 관통구멍들(120)은 삼각형, 사각형, 또는 육각형의 단위 다각형을 형성하도록 배열될 수 있다. 여기에서 상기 단위 다각형은 인접한 관통구멍들(120)이 형성하는 다각형을 의미한다. 관통구멍들(120)로 이루어진 상기 단위 다각형은 연속적으로 배열되어 유연 모재(110) 전체에 걸쳐서 배치될 수 있다.
- [0116] 관통구멍들(120)과 기둥부재들(130)은 다양한 방식으로 상대적으로 배열될 수 있으며, 예를 들어 하기의 도 18에 도시된 바와 같은 방식으로 상대적으로 배열될 수 있다. 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 다각형 내에 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다. 상기 다각형은 삼각형, 사각형, 육각형일 수 있다.
- [0117] 도 18은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 이용하여 형성한 다양한 형상의 액체매개 패턴을 나타내는 도면들이다.
- [0118] 도 18을 참조하면, 기둥부재들(130)의 배열과 관통구멍들(160)의 배열에 따라 설계된 다양한 액체매개 패턴(190)들이 나타나있다. 도 18에서, (a), (b), 및 (c)는 4P1H 배열에서의 액체매개 패턴(190)들이고, (d), (e), 및 (f)는 6P1H 배열에서의 액체매개 패턴(190)들이고, (g), (h), 및 (i)는 3P1H 배열에서의 액체매개 패턴(190)들이다. 적색 점선을 이용하여 표시한 기본 배열과 함께, 기둥부재들의 배열은 정사각형, 육각형, 삼각형 형상을 가지며, 다양한 형상의 관통구멍들이 단위 다각형의 중심에 위치한다. 상기 기둥부재들이 제거된 위치들은 청색 원들로 표시되어 있고, 관통구멍들이 제거된 위치들은 녹색 원들로 표시되어 있다.
- [0119] 참고로, 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 중심에 위치함은 예시적이며, 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 내부에 어떤 자리에도 위치하는 경우도 동일한 결과를 얻을 수 있다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 상기 관통구멍들이 상기 기둥부재들에 의하여 형성된 다각형의 내부에 어떤 자리에도 위치하는 경우를 포함한다.
- [0120] 특정한 기둥부재들의 배열에서 다양한 패턴들을 얻기 위하여, 기둥부재들의 제거, 관통구멍들의 제거, 및 기둥부재들을 둘러싸는 구멍들의 크기 변화는 연구할 필요가 있는 다른 공학적 요소들이다.
- [0121] 먼저, 상기 4P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0122] 도 18의 (a)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 사각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴도 동일한 단위 사각형이 연속하여 배열된 형태를 가진다. 예를 들어, 상기 다각형이 사각형인 경우에는, 네 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 사각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 사각형의 중심에, 하나의 상기 관통구멍이 배치될 수 있다.
- [0123] 도 18의 (b)를 참조하면, 가로 2 및 세로 2의 단위 사각형에서 청색 원으로 표시된 중심에 위치하는 기둥부재가 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴은 세 개의 평활 경계들을 포함하는 두 개의 상호 연결된 교차점을 나타낸다.
- [0124] 도 18의 (c)를 참조하면, 가로 2 및 세로 2의 단위 사각형에서 중심에 위치한 두 배 크기의 관통구멍들을 포함한다. 청색 화살표는 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재를 나타낸다. 이러한 경우에는 도 18의 (a)와 비교하여 네 배 면적의 단위 사각형 패턴이 형성된다. 여덟 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 사각형의 의 내부에, 예를 들어 상기 단위 사각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치되고, 관통구멍(120)은 중첩되어 배치된 기둥부재(140)에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.
- [0125] 이어서, 상기 6P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0126] 도 18의 (d)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 육각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는, 액체매개 패턴도 동일한 단위 육각형이 연속하여 배열된 형태를 가진다. 상기 다각형이 육각형인 경우에는, 여섯 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치될 수 있다.

- [0127] 도 18의 (e)를 참조하면, 단위 육각형에서 청색 원으로 표시된 두 개의 기둥부재들이 제거되어 있다. 두 개의 기둥부재들을 제거하여도, 도 18의 (b)의 상기 4P1H의 경우와는 다르게, 벌집 형상의 육각형 액체매개 패턴들의 형상에는 영향이 없다. 즉, 액체매개 패턴에서 세 개의 평활 경계들을 가지는 두 개의 교차점이 고정하는 기둥부재들이 없어도 형성될 수 있다. 개방 경계에서의 액체 계면들이 평활 법칙(plateau's law)을 따르기 때문에 상기 4P1H와 6P1H는 서로 다르게 나타난다. 도 18의 (e)의 상기 6P1H 배열에서는, 어떠한 기둥들을 제거하는 것과는 무관하게, 세 개의 액체-공기 계면들은 재배열이 없이 상기 평활 법칙을 따라서 항상 접촉하게 된다.
- [0128] 반면, 도 18의 (b)의 상기 4P1H 배열에서는, 액체-공기 계면들은 비대칭으로 변형되고 이어서 평활 법칙을 따라서 재배열된다. 따라서, 고정하는 기둥부재들은 평활 법칙을 따르지 않는 액체매개 패턴들을 설계하는데 중요한 역할을 한다. 따라서, 네 개의 기둥부재들(130)과 상기 액체매개 패턴의 두 개의 서로 마주보는 교차점들이 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치될 수 있다.
- [0129] 도 18의 (f)를 참조하면, 단위 육각형에서 중심에 위치한 두 배 크기의 관통구멍들을 포함한다. 청색 화살표는 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재를 나타낸다. 이는, 도 18의 (g)의 3P1H 배열의 기둥부재들에서 형성할 수 있다. 상기 두 배 크기의 관통구멍에 의하여 둘러싸인 기둥부재는 액체매개 패턴의 형상에 영향을 주지 않으며, 그 이유는 액체-공기 계면이 상기 기둥부재와 접촉하지 않기 때문이다. 추가로, 특정한 관통구멍들이 주기적으로 제거되면, 기하학적 파라미터들을 고려하고 평활 법칙을 적용하여 예측될 수 있는 다양한 액체 패턴들을 형성할 수 있다. 여섯 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 육각형의 중심에 하나의 상기 관통구멍(120)이 배치되고, 관통구멍(120)은 중첩되어 배치된 기둥부재(140)에 비하여 큰 직경을 가질 수 있다.
- [0130] 이어서, 상기 3P1H 배열의 경우를 검토하기로 한다.
- [0131] 도 18의 (g)를 참조하면, 기둥부재들과 관통구멍들을 각각 단위 삼각형들로 배치되어 있다. 이러한 경우에는,  $r_i > r_p$  의 조건을 가지게 되고, 상술한 바와 같은 원리에 따라 액체매개 패턴의 결함들이 관찰되었다. 상기 다각형이 삼각형인 경우에는, 세 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 삼각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 삼각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치될 수 있다.
- [0132] 도 18의 (h)를 참조하면, 적색 점선으로 표시된 육각형의 단위 공간에서 녹색 원으로 표시된 세 개의 관통구멍들이 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 잘 정렬된 육각형의 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 세 개의 액체-공기 계면의 Y-형 교차점은 액체매개 패턴의 기본 구성 요소가 된다. 세 개의 기둥부재들(130)과 상기 액체매개 패턴의 세 개의 교차점들이 서로 교번하여 배열되어 형성하는 단위 육각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 육각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치될 수 있다.
- [0133] 도 18의 (i)를 참조하면, 적색 점선으로 표시된 단위 삼각형의 공간에서 녹색 원으로 표시된 세 개의 관통구멍들이 제거되어 있다. 이러한 경우에는, 잘 정렬된 확대된 삼각형의 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 세 개의 액체-공기 계면의 Y-형 교차점은 액체매개 패턴의 기본 구성 요소가 된다. 여섯 개의 기둥부재들(130)이 형성하는 단위 삼각형의 내부에, 예를 들어 상기 단위 삼각형의 중심에, 하나의 관통구멍(120)이 배치될 수 있다.
- [0134] 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 액체매개 패턴을 형성하는 기술인 템플릿 유도 거품법에서, 증발대상액체가 증발하는 동안 곡면 기관 상에서 후퇴하는(receding) 액체-공기 계면들의 배열들을 제어할 수 있고, 이에 따라 입자들 또는 용질들의 곡선 조립체에 대한 규칙적으로 배열된 수용성 거품 구조를 형성할 수 있다. 상기 템플릿 유도 거품법은, 단일 단계로, 신속하고, 변형을 유발하지 않고, 서브-마이크로 해상도로써, 투명 전도체들로 구성된 곡선형의 은 그리드들을 다양한 기관들 상에 제조할 수 있다.
- [0135] 또한, 상기 템플릿 유도 거품법은, 은 그리드들로 구성된 투명 히터들을 볼록 거울 상에 형성시킬 수 있다. 증발가능한 조립체에 대한 액체-공기 계면들이 3차원으로 후퇴하는 것을 유도하기 위하여, 다양한 소프트 템플릿들을 개발할 수 있고, 모든 액체 공정의 기능성 3차원 광전자들 및 웨어러블 전자 장치들의 경제적인 제조에 적용될 수 있다.
- [0136] 실험예
- [0137] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실험예를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0138] 실험예에 사용한 시약들과 물질들
- [0139] 본 발명의 실험예에 사용된 화합물들은 별도로 지칭되지 않는한 시그마-알드리히(Sigma-Aldrich)사의 제품을 사

용하였다.

[0140] 액체매개 패터닝성장장치로서, 미세한 텍스처 관통구멍을 가지는 필름에 미세구조들을 형성하거나 복제하기 위하여, 네가티브 포토레지스트(SU-8 2025 및 SU-8 2050, MicroChem), 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane, PDMS)(Sylgard 184, Dow Corning) 및 비화학평형적인(off-stoichiometry) 시오린(thiolene) 고분자 레진(OSTEMER; OSTEMER 322 Crystal Clear, Mercene Labs)을 사용하였다. 상기 필름 제조에 있어서, 희생층을 형성 하도록 폴리비닐알코올(Polyvinyl alcohol, PVA)(360627)을 사용하였다.

[0141] 몰드의 표면을 트리클로로 (1H,1H,2H,2H-퍼플로옥틸)실란 (Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane)(PFOCTS; 448931)을 이용하여 개질하였다.

[0142] 또한, 소듐 도데실 설페이트(sodium dodecyl sulfate)(SDS; 436143)와 50 nm 의 은 나노입자들(Econix silver nanospheres-polyvinylpyrrolidone, nanoComposix)을 물에 용해시키거나 또는 희석시켜 은 그리드들을 인쇄하기 위한 은 잉크를 준비하였다. 상기 소듐 도데실 설페이트의 농도는 0.05% 이었다. 본 발명에 사용된 용액의 퍼센트는 무게/부피 퍼센트를 의미한다.

[0143] 실험 설비

[0144] USB 현미경(AM7915MZTL, Dino-Lite) 및 역형광 현미경(inverted fluorescence microscope)(IX71, Olympus Corp.)에 설치된 CCD 장치 카메라(Clara Interline CCD, Andor Technology Ltd)를 이용하여 광학 사진들을 취득하였다. 전동 스테이지(96S209-N2), 전동 초점 제어기(99A400), 및 제어 시스템(MAC 5000) (Ludl electronic Products 제조)을 이용하여 상기 현미경을 자동화하였다.

[0145] 전계효과 주사전자현미경(FE-SEM, S-4800, Hitachi)을 이용하여 주사전자현미경 사진들을 취득하였다.

[0146] 은 그리드들의 투과율을 측정하기 위하여 자외선-가시광선 분광 광도계(Varian Cary 5000, Agilent)를 사용하였다. 투명한 은 히터들의 온도는 적외선 카메라(A325sc; FLIR systems)를 이용하여 측정하였다. 대기 조건들을 제어하기 위하여, 솔레노이드 밸브들(S10MM-20-24-2, Pneumadyne Inc.), 습도/온도 센서(SHT15, SENSIRION), 미세제어보드(Arduino Uno, Arduino cc.)를 포함하는 맞춤형 습도/온도 제어 시스템을 사용하였고, LabVIEW 소프트웨어(National Instruments)를 이용하여 프로그래밍하였다.

[0147] 액체매개 패터닝성장장치의 제조

[0148] 액체매개 패터닝성장장치는 상술한 방법에 의하여 제조하였고, 예를 들어 소프트-리소그래피 공정을 이용하여 형성하였다. 구체적으로, 2층 구조를 가지는 SU-8 포토레지스트를 가지는 마스터 몰드를 준비하고, 상기 마스터 몰드를 이용하여 소프트-리소그래피 공정을 수행하여 PDMS로 구성된 액체매개 패터닝성장장치를 제조하였다. 추가적으로 상기 액체매개 패터닝성장장치를 PFOCTS를 이용하여 화학적으로 기능화하였다.

[0149] 유리 기판 상에 PVA를 스핀 코팅을 하여, 수용성 희생층을 형성하였다. 이어서, 상기 PVA가 코팅된 유리 기판 상에 PDMS 몰드를 배치하였다. 진공 조건 하에서, 상기 PDMS 몰드로부터 공기를 제거하였다. 이어서, 상기 몰드를 진공 조건으로부터 배출하고, 음의 압력 유동에 의하여 입력 포트에 OSTEMER 레진을 내부로 장입하였다. 여기에서 상기 PVA가 코팅된 유리 기판과 상기 PDMS 몰드 사이의 미세 채널에 음의 압력을 형성하기 위하여, 상기 몰드는 입력 포트만을 가지고 있고, 다른 포트는 가지지 않아야 한다. 상기 OSTEMER 레진이 장입되는 동안에 반 데르발스 상호작용에 의하여 상기 PDMS 몰드와 PVA 층이 등각 접촉을 유지한다. 파장 312 nm의 자외선을 5 분간 인가하여 상기 OSTEMER 레진을 고상화하였다. 이어서, 상기 PDMS 몰드를 제거하였다. 상기 PDMS 몰드는 재사용할 수 있다. 상기 OSTEMER의 고상화를 완성하기 위하여, 상기 90℃의 오븐에서 1 시간동안 열처리하였다. 상기 유리 기판에서 미세 텍스처 관통구멍 필름을 분리하도록, 상기 PVA 희생층을 물에 용해시켰다.

[0150] OSTEMER 322 레진으로 구성된 75  $\mu\text{m}$  두께의 미세 텍스처 관통구멍을 가지는 액체매개 패터닝성장장치를 필름형상으로 제조하였다. 상기 액체매개 패터닝성장치는 곡면 기판들에 등각 접촉하기 위한 적절한 유연성을 구현하도록 충분한 영률을 가졌다. 상기 액체매개 패터닝성장치는 관통구멍들을 구비하고, 모놀리식으로 형성된 기동부재들을 가진다. 상기 기동부재들은 지름 20  $\mu\text{m}$  및 높이 25  $\mu\text{m}$ 이었고, 상기 관통구멍들은 지름 50  $\mu\text{m}$  및 높이 50  $\mu\text{m}$  이었다.

[0151] 액체매개 패터닝의 형성

[0152] 곡면 기판 상에 관통구멍들과 기동부재들을 가지는 액체매개 패터닝성장장치를 이용하여 증발대상액체의 증발에 의하여 은 나노입자의 규칙적으로 배열된 수용성 거품 구조, 즉, 템플릿 유도 거품 구조를 형성하였다. 상기 액

체매개 패턴형성장치는 상기 증발대상액체가 증발하는 동안 후퇴하는 액체-공기 계면들의 배열들을 적절하게 제어할 수 있다. 특히, 본 발명자들에 의하여 이전에 제안한 관통구멍 배열을 가지는 필름과 기둥 배열을 가지는 기관으로 구성된 액체매개 패턴형성장치와는 달리, 본 발명의 액체매개 패턴형성장치는 유연 모재에 관통구멍들이 구비되고, 기둥부재들이 형성된 상이점이 있다.

[0153] 도 19는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 액체매개 패턴을 형성하는 과정을 도시하는 개략도를 및 사진들이다.

[0154] 도 19의 (a)를 참조하면, 원기둥 병 상에 50 nm 크기의 은 나노입자를 포함하는 은 잉크 20 mg/mL 를 도포한 후에, 미세한 텍스처 관통구멍 멤브레인인 액체매개 패턴형성장치를 배치하여 넓게 펼치게 하였다. 병의 반경은 약 4.5 cm 이었다. 이어서, 상기 은 잉크가 완전하게 건조되도록 약 3 분 동안의 증발을 수행하였다. 상기 액체매개 패턴형성장치의 치수는 0.8 cm x 0.8 cm (면적 약 0.64 cm<sup>2</sup>)이었다. 각각의 관통구멍에는 액체-공기 계면들이 형성되었다.

[0155] 도 19의 (b)를 참조하면, 황색의 은 나노입자가 청색의 물 용액 내에 균일하게 분산되어 있다.

[0156] 도 19의 (c)를 참조하면, 용액 중의 용매가 관통구멍들을 통하여 증발하여 상기 액체-공기 계면들이 원형 패턴들로서 균일하게 후퇴하면서 인접한 액체-공기 계면과 서로 연결되었다.

[0157] 도 19의 (d)를 참조하면, 용액 중의 용매가 관통구멍들을 통하여 더 증발하고, 상기 액체-공기 계면이 기둥부재들에 고정되어 네트워크를 형성하게 된다.

[0158] 도 20은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

[0159] 도 20을 참조하면, 도 19를 참조하여 상술한 바와 같이 형성된 액체매개 패턴을 열처리한 후 형성된 은 그리드가 나타나있다. 상기 은 그리드는 연속된 육각형 형상의 네트워크로 구성되어 있다. 확대된 사진에서는, 은 그리드를 구성하는 은 나노입자들이 열처리에 의하여 서로 소결되어 합쳐져 있다.

[0160] 본 발명에 따른 액체매개 패턴형성방법에 따르면, 3 분 정도의 빠른 증발에 의하여 액체매개 패턴이 형성되므로, 인쇄 면적이 증가됨에 따라 관통구멍들이 증가되는 경우에 적용이 가능할 수 있다. 즉, 은 나노입자와 같은 투명 전도체들의 축소가 가능한 인쇄가 미세 텍스처 관통구멍의 대면적 제조를 가능하게 할 수 있고, 따라서 롤-투-롤 방법에 적용될 수 있다.

[0161] 본 발명에 따르면, 증발대상액체에 계면활성제를 투입하였고 이에 따라 액체필름이 라플라스 압력과 분리 압력의 균형에 의하여 파괴되지 않고 나노 크기의 두께를 유지할 수 있었다. 결과적으로, 은 나노입자들은 나노 크기의 액체 거품 구조체에서 제한되고 조립되었고, 이에 따라 곡선의 은 그리드 패턴을 형성하였다.

[0162] 따라서, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치와 방법은, 유연하고 미세 텍스처 관통구멍들을 가지는 필름을 이용한 템플릿 유도 거품법을 제안할 수 있고, 곡면 기관들 상에 금속 그리드들을 제조할 수 있다. 본 발명의 경우에는, 복제할 모놀리식 물체가 일단 준비되면, 액체매개 패턴형성장치들을 제조하기 위하여 관통구멍 배열과 기둥 배열을 정렬하는 모놀리식(monolithic) 설계가 더 이상 요구되지 않는다. 특히, 이전 연구와는 대조적으로, 기관이 아닌 관통구멍들이 구비된 필름형 유연 모재에 기둥부재들이 형성되며, 원기둥 병과 같은 곡면기관들은 기둥 구조는 포함하지 않으며, 그리드 패턴 만을 포함하게 된다. 또한, 상기 유연 모재에 상기 관통구멍들과 상기 기둥부재들이 함께 구비되므로, 자외선이나 열 큐어링 공정에 의하여 유도되는 물질 축소를 일으키기 때문에 발생하는 관통구멍과 기둥의 배열 부정합의 발생을 원천적으로 차단할 수 있다. 또한, 얇은 필름을 제조하기 위하여 사용된 물질들에 기인하여, 액체매개 패턴형성장치는 더 우수한 기계적 안정성과 화학적 안정성을 가질 수 있다.

[0163] 액체매개 패턴의 구조적 특성 분석

[0164] 액체매개 패턴으로서 형성된 은 그리드의 구조적 특성을 분석하였다.

[0165] 도 21은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴의 곡면 기관의 종류 및 접촉각에 따른 형상 변화를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.

[0166] 도 21을 참조하면, 액체매개 패턴으로 형성된 은 그리드들의 형상을 나타낸다. 상기 은 그리드는 10 mg/mL 의 수용성 은 나노입자들을 이용하여 형성하였다. 접촉각 측정을 위한 액적의 부피는 2  $\mu$ L 이었다.

- [0167] 상기 곡면 기판으로는 유리(glass), 폴리디메틸실록산(polydimethyl siloxane, PDMS), 및 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PET)를 사용하였고, 이들은 일반적으로 알려진 투명 물질이다. 유리와 PDMS의 경우에는 각각 두 개의 접촉각에 대하여 나타나있다.
- [0168] 6.3도의 낮은 접촉각에서 105.7도의 높은 접촉각으로 변화시키면, 은 그리드들에서의 선의 단면은 삼각형, 사각형, 및 타원형으로 변화됨을 알 수 있다. 낮은 접촉각에서의 소수성 상태 영역에서는, 은 그리드의 네트워크가 불안정하게 형성되고, 따라서, 은 그리드 네트워크들의 단절이 다수 발생하였다. 또한, PDMS 상에 형성된 은 그리드의 세 방향 접촉점들에서, 은 나노입자들은 기동부재들의 주위에서 곡선 패턴들을 형성하고, 이는 상기 PDMS의 소프트 특성에 의하여 기동부재들의 배열의 하부가 밀착하여 밀봉되기 때문이다.
- [0169] 도 22는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴에서 증발대상액체의 은 나노입자 농도에 따른 은 그리드의 폭의 변화를 나타낸다.
- [0170] 도 22의 (a)는 증발대상액체의 은 나노입자 농도에 따른 은 그리드의 폭에 대한 사진들이고, 도 22의 (b)를 참조하면, 증발대상액체의 은 나노입자 농도와 은 그리드의 폭의 관계를 나타내는 그래프이다.
- [0171] 도 22를 참조하면, 상기 은 그리드는 2 cm x 2 cm의 면적에 16  $\mu$ L의 은 잉크를 이용하여 형성하였다. 상기 증발대상액체의 은 나노입자 농도가 2.5 mg/mL 내지 50 mg/mL에서 변화됨에 따라, 상기 은 그리드 선의 폭이 200 nm 내지 수 마이크로 미터로 변화되었다. 이러한 결과로부터, 상기 증발대상액체의 은 나노입자 농도를 2.5 mg/mL 미만으로 감소시키면, 상기 은 그리드 선의 폭을 200 nm 이하로 감소시킬 수 있을 것으로 예측되지만, 실제로는 폭이 감소되지 않고, 은 그리드의 선이 형성되지 않았다. 또한, 증발대상액체의 은 나노입자 농도가 10 mg/mL 미만에서는, 은 그리드의 네트워크들이 세 방향 접촉점들에서 단절되는 것이 나타났다.
- [0172] 도 23은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴에서 기동부재의 지름에 따른 은 그리드의 형성 변화를 나타내는 주사전자현미경 사진들이다.
- [0173] 도 23을 참조하면, 서브-마이크로 해상도로써 형성된 상기 은 그리드가 단절되는 것을 방지하기 위하여, 다른 기하학적 파라미터를 유지시킨 상태에서 기동부재들의 지름을 변화시켜 상기 은 그리드를 형성하였다. 상기 기동부재의 지름은 10  $\mu$ m 또는 20  $\mu$ m 이었고, 인접한 기동부재 사이의 거리는 60  $\mu$ m 이었다. 증발대상액체에서의 은 나노입자의 농도는 10 mg/mL 이었다. 상기 기동부재들이 지름 20  $\mu$ m를 가지는 경우에는, 세 방향 접촉점들에서 상기 은 그리드의 단절이 발생하였다. 상기 기동부재들의 지름을 10  $\mu$ m로 감소시키면, 단절이 발생하지 않고 서브-마이크로 해상도 잘 연결된 은 그리드들이 구현되었다. 따라서, 후속의 실험에서는, 지름 10  $\mu$ m의 기동 배열들을 포함하는 액체매개 패턴형성장치를 사용하여 은 그리드를 형성하였다.
- [0174] 액체매개 패턴의 전기적 특성 및 광학적 특성 분석
- [0175] 이하에서는, 액체매개 패턴으로서 형성된 은 그리드의 전기적 특성 및 광학적 특성을 분석하였다.
- [0176] 도 24는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 사진이다.
- [0177] 도 24를 참조하면, 액체매개 패턴으로서 형성된 은 그리드의 전기적 특성 및 광학적 특성을 분석하기 위하여, 엠블렘 상에 배치된 유리 기판 상에 10 mg/mL의 은 잉크 16  $\mu$ L를 이용하여 형성한 은 그리드의 사진이 나타나 있다. 적색 영역이 2 cm x 2 cm 크기의 은 그리드를 나타낸다. 확대된 사진은 상기 은 그리드의 육각형 네트워크들을 나타낸다. 상기 은 그리드는 적절한 투명성을 가지며, 잘 정돈된 서브-마이크로 은 와이어 네트워크들을 포함함을 알 수 있다.
- [0178] 도 25는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 형성된 액체매개 패턴의 전기적 및 광학적 특성들을 나타내는 그래프들이다.
- [0179] 도 25의 (a)를 참조하면, 유리 기판 상에 형성된 은 그리드의 면저항과 흡수도를 은 나노물질의 농도의 함수로서 나타낸 그래프이다. 상기 흡수도는 550 nm 파장에 대하여 측정하였다. 은 나노물질의 농도가 증가되면, 면저항은 감소되고, 반면, 흡수도는 증가되었다. 즉, 전기적 특성과 광학적 특성은 대립 균형적(trade-off) 관계를 가진다. 상기 은 그리드들은 200°C에서 1 시간 동안 소결하여, 은 나노입자들을 둘러싸는 절연성 계면활성제들을 제거하게 되고, 이에 따라 전기 전도도가 증가된다. 그러나, 10 mg/mL 미만의 농도에서는 상술한 바와 같이, 세 방향 접촉점들에서 단절이 많이 발생하여 전기 전도도가 측정되지 않았다.
- [0180] 도 25의 (b)를 참조하면, 400 nm 내지 800 nm 범위의 가시광선에서의 상기 은 그리드의 투과율이 나타나 있다.

20 mg/mL 농도의 은 잉크를 가지고, 반경 10 mm의 원기둥 병에 인쇄하였다. 상기 은 그리드들은 전기 전도도를 유지하면서, 550 nm의 파장에서 78% 내지 92% 범위의 투과율을 나타내었다.

[0181] 곡면 기관 상에 액체매개 패턴의 형성

[0182] 도 26은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴을 나타내는 사진들이다.

[0183] 도 26을 참조하면, 곡면 기관들 상에 은 그리드들을 인쇄하는 템플릿 유도 거품법의 가능성을 증명하기 위하여, 20 mg/mL의 농도의 은 잉크를 이용하여 다양한 원기둥 병들에 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 은 그리드들을 인쇄하였다. 상기 원기둥 병들은 3.5 mm 내지 17.5 mm의 반경과 0의 가우시안 곡률을 가졌다.

[0184] 반경 4.5 mm 내지 17.5 mm 범위의 반경에서, 원기둥 병들에 유연 OSTERMER 계 템플릿으로 구성된 액체매개 패턴형성장치를 적절하게 둘러싸게 하여 규칙적으로 배열된 은 그리드 패턴들을 형성하였다. 형성된 육각형의 길이는 80  $\mu$ m 이었다. 상기 은 그리드 패턴이 형성된 후에도, 상기 원기둥 병들은 우수한 투명성을 나타냄을 알 수 있다.

[0185] 반면, 내부 사진에서 나타난 바와 같이, 3.5 mm 이하의 반경을 가지는 경우에는 액체매개 패턴형성장치 필름이 터버리므로 인쇄가 불가능함으로 알 수 있다. 즉, 반경 3.5 mm 또는 그 이하에서는 액체매개 패턴형성장치가 상기 원기둥 병을 둘러쌀 수 있는 충분한 유연성을 가지지 못하였다. 따라서, 반경 3.5 mm 이하에 비하여 더 작은 곡률을 가지는 표면들에 은 그리드들을 인쇄하기 위하여는 충분히 더 유연한 물질로서 액체매개 패턴형성장치를 형성할 필요가 있다.

[0186] 따라서, 본 발명에 따른 액체매개 패턴형성장치로 형성된 액체매개 패턴으로서의 은 그리드는 적절한 전기 전도도와 투명성을 가짐을 알 수 있다. 따라서, 본 발명의 템플릿 유도 거품법은 간단하고, 서브-마이크로 해상도를 가지고, 축소가능하고, 다양한 소프트하고 유연한 투명 기관들을 사용할 수 있고, 인쇄 템플릿을 재사용할 수 있는 등의 장점을 가지므로, 가능성이 있고, 존재하는 디지털 인쇄 시도들에 비하여 더 우수함을 알 수 있다. 또한, 본 발명의 액체-매개 패턴링 방법의 사용은 물질의 직접적인 단일-단계 인쇄를 허용할 수 있고, 이에 따라 곡면 표면들 상에 광전자 구성 요소의 기계적 응력을 방지할 수 있으며, 이는 종래의 이송 인쇄 방법과는 상이하다.

[0187] 액체매개 패턴의 응용: 거울의 성에제거 장치

[0188] 도 27은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴의 발열 성능을 나타내는 사진들이다.

[0189] 도 27의 (a)를 참조하면, 액체매개 패턴의 응용으로서, 성에제거 장치들에 사용하기 위하여, 액체매개 패턴의 발열 성능을 측정하는 장치를 나타낸다. 반경 10 mm의 원기둥 병의 곡면 표면 상에 20 mg/mL의 농도를 가지는 은 나노입자를 포함하는 증발대상액체를 이용하여 은 그리드를 형성하고, 상기 은 그리드에 1 V 내지 4 V 범위의 전압을 인가하여 줄(Joule) 가열하면서, 적외선 카메라를 이용하여 은 그리드의 온도 분포를 측정하였다. 적색 사각형은 1.6 cm x 1.6 cm 크기와 8.0  $\Omega$ 의 저항의 은 그리드를 나타낸다.

[0190] 도 27의 (b)를 참조하면, 1 V 내지 4 V 범위의 전압을 인가하여 줄(Joule) 가열을 측정하는 적외선 사진이다. 상기 원기둥 병의 곡면 표면은 적절한 투명성을 유지하면서, 은 그리드는 줄 가열되었다. 전압이 증가됨에 따라, 줄 가열에 의한 온도가 증가됨을 알 수 있다.

[0191] 도 28은 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기관상에 형성된 액체매개 패턴의 발열 성능을 나타내는 그래프들이다.

[0192] 도 28의 (a)를 참조하면, 은 그리드에 인가되는 전압을 변경에 따라 변화하는 온도 변화를 나타내는 그래프들이다. 직류 전압을 인가하면, 투명 은 그리드 히터들의 온도는 빠르게 증가되어 일정 수준의 포화 온도에서 유지되었다. 전압의 증가됨에 따라, 유지되는 포화 온도는 증가되었으며, 예를 들어 4 V의 전압에서는 113°C의 포화 온도로 유지되었다. 상기 원기둥 병의 전체 표면 면적에 비하여 상기 은 그리드가 작은 면적을 가지므로, 상기 원기둥 병의 크기가 커지면 포화 온도에 도달하기에 상대적으로 더 긴 시간이 요구된다.

[0193] 도 28의 (b)를 참조하면, 3 V의 인가 전압에서의 은 그리드의 온-오프 스위칭 사이클을 나타내는 그래프이다. 0 V 내지 3 V로 전압을 스위칭하는 것을 7회의 사이클로 반복하고, 이어서 3 시간 이상에서는 전압을 3 V로 인가하여 유지하면서, 상기 히터의 열안정성을 평가하였다. 사이클 반복 구간이나 그 이후의 3 V 유지 구간에서도

포화 온도가 거의 동일한 유지하므로, 상기 은 그리드의 열화가 발생하지 않는 것으로 분석된다.

[0194] 도 29는 본 발명의 일실시예에 따른 액체매개 패턴형성장치를 이용하여 곡면 기판상에 형성된 액체매개 패턴이 적용된 자동차의 사이드 거울의 성에 제거 성능을 나타내는 사진들이다.

[0195] 도 29를 참조하면, 상기 자동차의 사이드 거울은 0이 아닌 가우시안 곡률을 가지는 거울이다. 상기 거울 표면 상에 성에제거 장치로서 1.5 cm x 1.5 cm의 치수를 가지고, 투명한 은 그리드로 구성된 은 그리드 히터를 본 발명의 방법에 따라 형성하였다. 이어서, 상기 히터의 성에 제거 가능성을 검증하기 위하여, 은 그리드 히터가 설치된 볼록 거울형의 사이드 거울을 -20℃의 냉장고에 1 시간 동안 유지시켜 그 표면 상에 성에를 발생시켰다. 상기 성에가 충분한 양으로 발생된 후에, 성에 제거를 위하여 상기 은 그리드 히터에 6 V의 전압을 인가하였다. 상기 은 그리드 히터에 전압이 인가된 후에, 상기 성에가 성공적으로 제거되어, 상기 사이드 거울의 맑은 표면이 나타나게 된다.

[0196] 따라서, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성방법을 이용하면, 다양한 액체매개 패턴을 형성할 수 있다. 상기 액체매개 패턴이 적용되는 일 예로서 발열 거울일 수 있다. 상기 발열 거울은, 거울 부재; 및 상기 거울 부재 상에, 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴 히터;를 포함할 수 있다.

[0197] 더 나아가, 상기 액체매개 패턴이 적용되는 일 예로서 투명전극 곡면 장치일 수 있다. 상기 투명전극 곡면 장치는, 표면에 곡면이 형성된 기재; 및 상기 기재 상에, 상술한 액체매개 패턴의 형성방법에 의하여 형성되고, 금속 입자를 포함하는 그리드로 구성된 액체매개 패턴으로 구성된 유연 투명전극;을 포함할 수 있다.

[0198] 이러한 결과로부터, 본 발명의 기술적 사상에 따른 액체매개 패턴형성장치 및 방법에 따르면, 귀금속 손실을 최소화하면서, 간단하고 경제적인 방식이고, 변형을 유발하지 않고, 용액 공정 방식을 이용하여 3차원 곡선 물체 상에 다양한 광전자 구성요소들을 제조하는 것의 가능성이 매우 높음을 알 수 있다. 상기 액체매개 패턴형성장치 및 방법을 다양한 응용처에 구현될 수 있도록, 다른 기능성 특성들, 예를 들어 굽힘성, 펼침성, 마모 저항성, 및 화학 저항성 등은 목표 기판들과 코팅된 박막 패시베이션층을 변경시켜 구현할 수 있다.

[0199] 상기 액체매개 패턴형성장치 및 방법에 따른 템플릿 유도 거품법은 유연하거나 또는 펼치질 수 있는 기판들에, 예를 들어 PDMS 필름 또는 PET 필름에 적용될 수 있다. 그러나, 템플릿 유도 거품법의 응용에 따라 소프트 스탬프 인쇄법과 액체-매개 패턴닝법의 결합에 기인한 장점을 이용하여, 3차원 리소그래피 인쇄로 발전됨을 알 수 있다. 존재하는 많은 2차원 액체-매개 패턴닝 기술들을 곡선 물체 상에 물질 패턴닝을 위한 고체-액체-공기 계면들의 3차원 형성에 확대하여 적용할 수 있다.

[0200] 결론

[0201] 0이 아닌 가우시안 곡률을 가지는 기판들 상에 금속 그리드들을 인쇄하는 미세 텍스처 관통구멍 필름으로 구성된 액체매개 패턴형성장치를 개발하였다. 상기 액체매개 패턴형성장치를 이용하여, 유연하고 모놀리식 설계로 구성된 템플릿 유도 거품법에 적용하였다. 75  $\mu\text{m}$ 의 작은 두께를 가지는 상기 필름은 적절한 유연성을 제공할 수 있고, 최소한 4.5 mm의 반경을 가지는 원기둥 표면들 상에 상기 필름을 덮을 수 있다. 상기 필름의 모놀리식 기둥 배열과 관통구멍 배열은 수용성의 증발대상액체, 즉 은 잉크가 완전히 증발될 때까지 액체-공기 계면들의 후퇴하는 경로를 제어할 수 있고, 이에 따라 다양한 형상의 곡면 기판들 상에 나노 크기의 필름들에서 규칙적으로 배열된 네트워크들을 구현하였다. 인쇄 면적과는 무관하게 3 분 이내로 액체를 증발시킨 후에, 은 나노입자들은 500 nm 내지 수 마이크로 미터의 폭과 단절됨이 없는 선들의 육각형 네트워크들을 형성할 수 있다.

[0202] 상기 본 발명에 따른 액체매개 패턴형성방법의 액체-매개 패턴닝법은 원료 손실을 최소화할 수 있고, 축소 가능성을 가지고, 단일-단계 인쇄의 간단한 방법이 가능하고, 변형을 유발하지 않고, 서브-마이크로 해상도를 가지는 등의 많은 장점을 가진다. 또한, 곡면 표면들 상에 인쇄된 은 그리드들은 높은 줄-가열 성능을 가지면서 적절한 전기적 특성과 광학적 특성을 가지는 경제적인 투명 전도체들을 사용하는 가능성을 보여준다. 은 그리드들의 예시적인 응용으로서, 볼록 거울 상에 투명 히터들을 형성하였고, 전압을 인가하여 성에가 성공적으로 제거되어 상기 거울의 맑은 면이 나타났다. 더 현실적인 응용처를 위하여 상기 투명 전도체들의 크기는 개선되어야 하고, 대면적 미세 텍스처 관통구멍 필름들을 제조하기 위하여, 롤-투-롤 리소그래피와 같은 특정한 방법들의 개선이 달성될 수 있다.

[0203] 본 발명의 기술적 사상에 따르면, 종래의 평면 시스템들에 비하여, 3차원 곡면 기판들을 위한 다재 다능한 인쇄 기술은 3차원 기능성 광전자들의 새로운 설계와 개념의 개발을 용이하게 할 수 있다. 액체-매개 패턴닝 및 소프트 스탬프 인쇄의 조합에 대한 새로운 인식을 기반하여, 상기 템플릿 유도 거품법은 다양한 개선된 소프트 템플

릿들의 개발을 위한 새로운 가능성을 제공할 수 있고, 경제적인 모든 액체-공정 기능성 3차원 광전자들 및 웨어러블 전자 장치들을 구현할 수 있다.

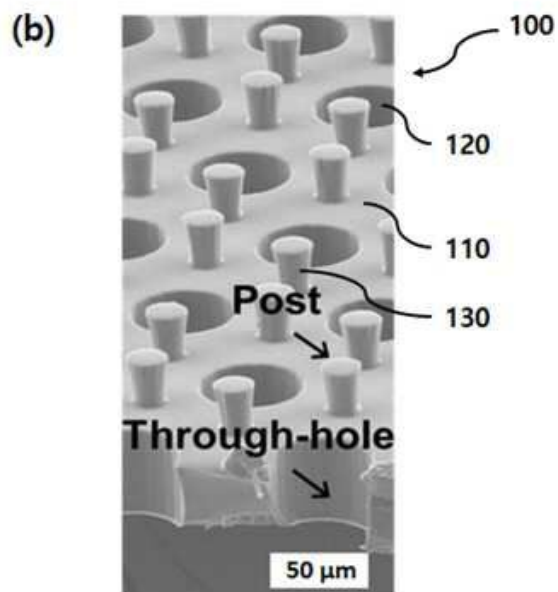
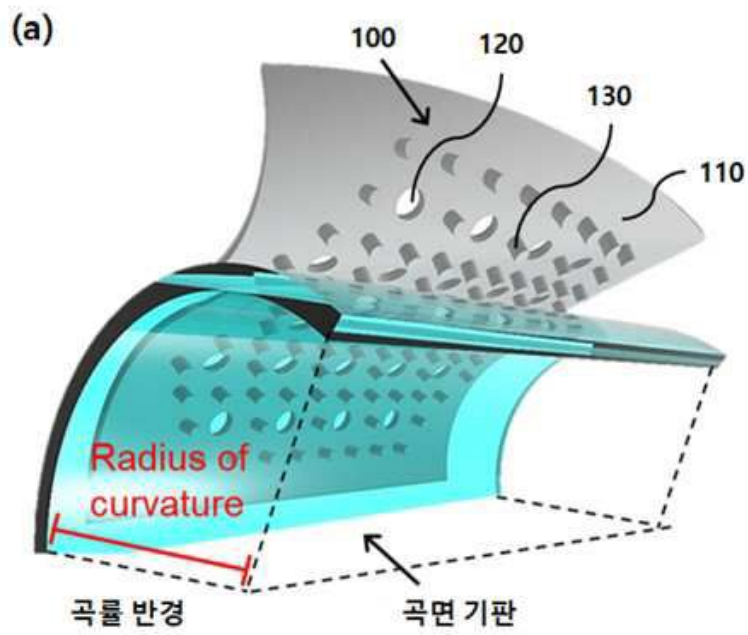
[0204] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

### 부호의 설명

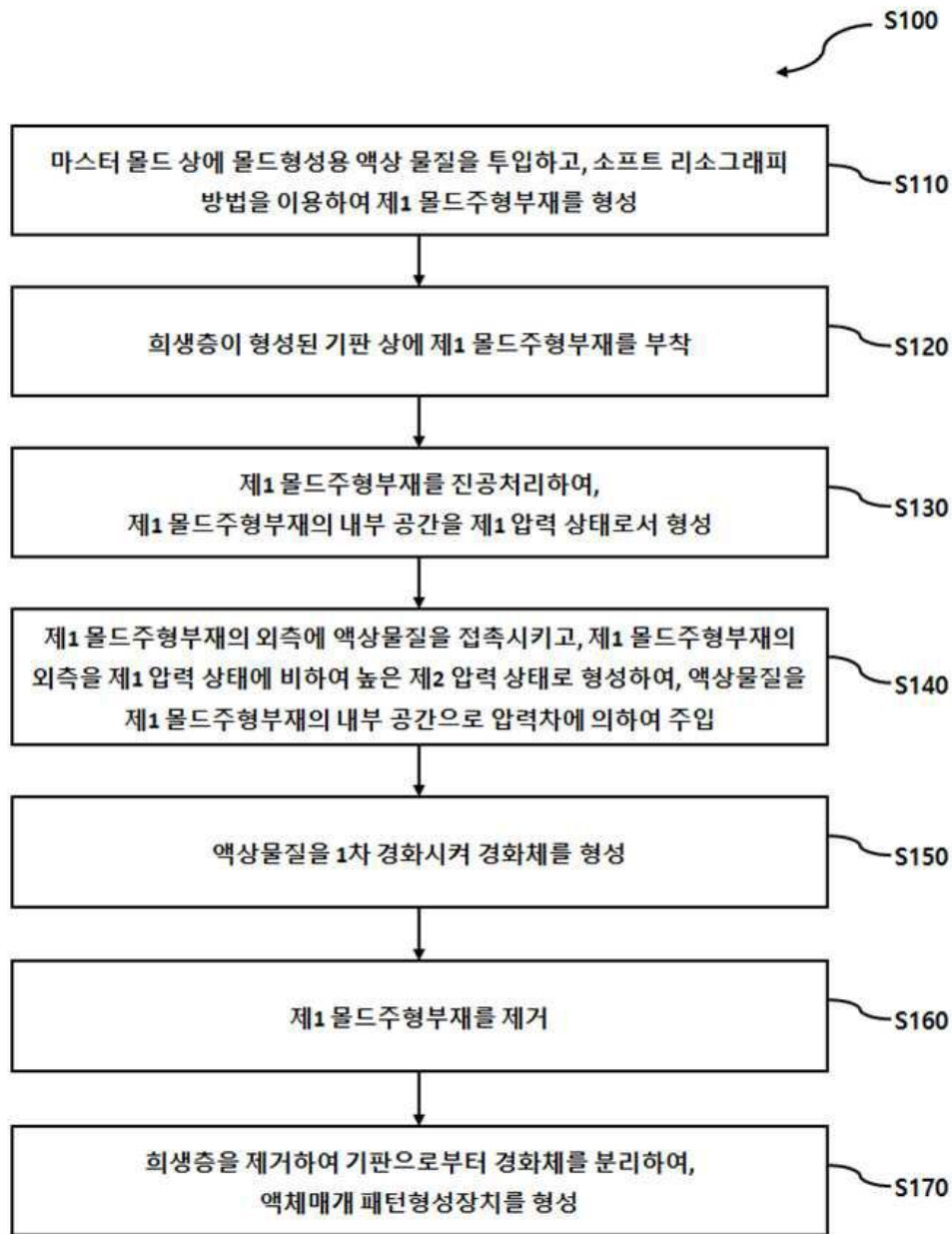
[0205] 10: 마스터 몰드, 20: 제1 몰드주형부재,  
30: 기관, 32: 희생층,  
34: 내부 공간, 40: 경화체,  
42: 액상물질,  
100: 액체매개 패턴형성장치, 110: 유연 모재,  
120: 관통구멍, 130: 기둥부재,  
150: 곡면 기관, 160: 증발대상액체,  
170: 액체-공기 계면, 172: 거품,  
190: 액체매개 패턴,  
200: 유동 몰드 구조체, 210: 기관  
220: 제2 몰드주형부재, 230: 돌출부,  
240: 주형구, 252: 액상 물질,  
290: 절단 부재,

도면

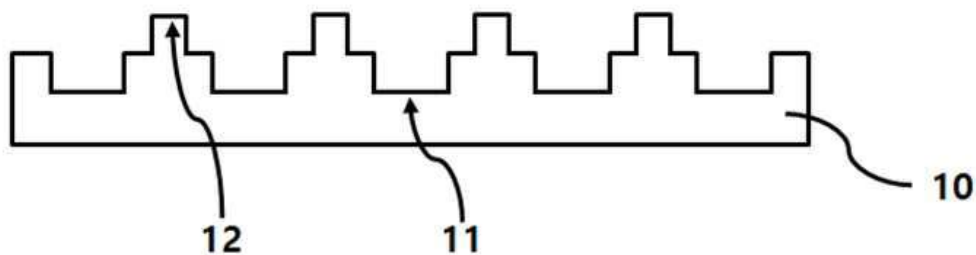
도면1



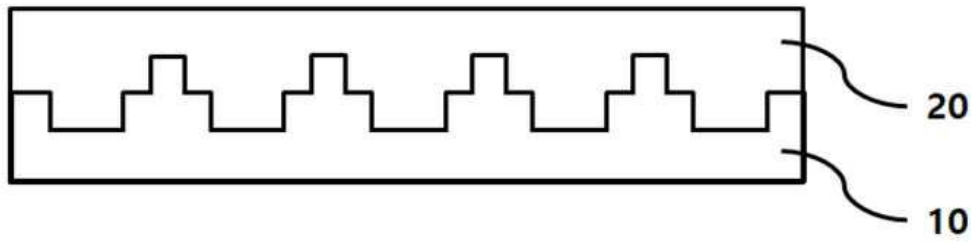
도면2



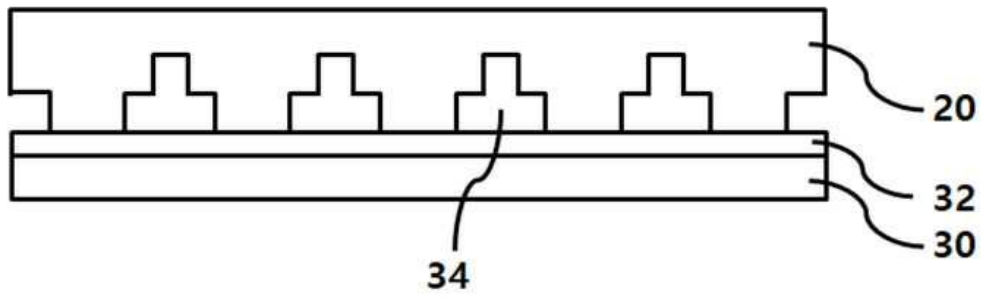
도면3



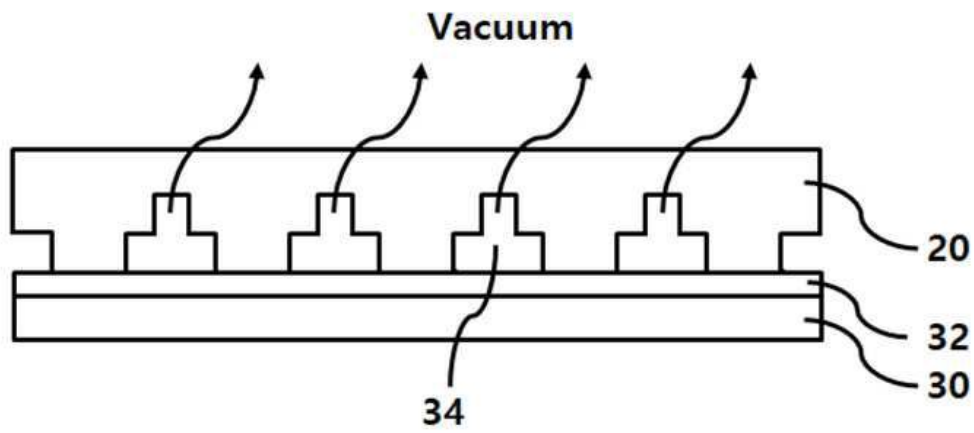
도면4



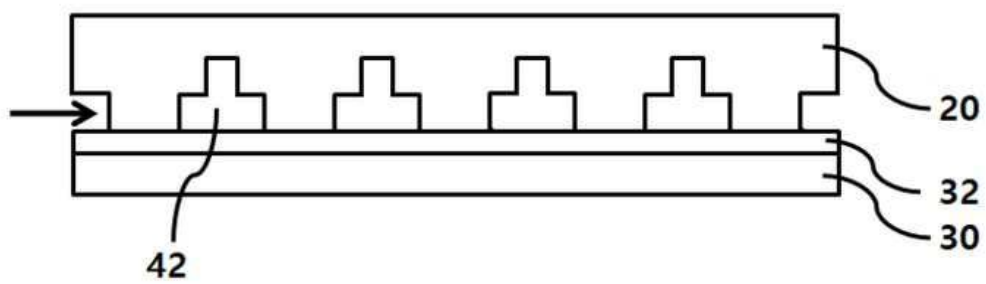
도면5



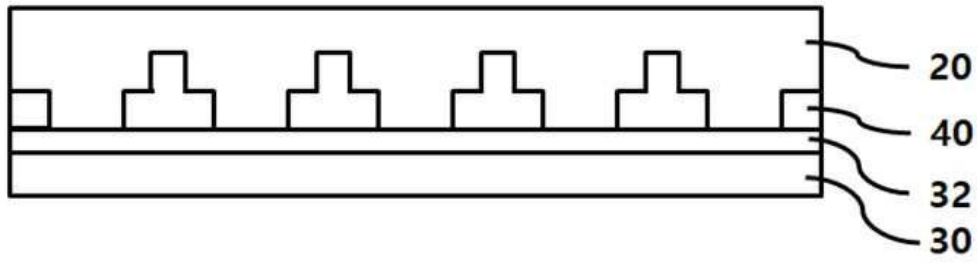
도면6



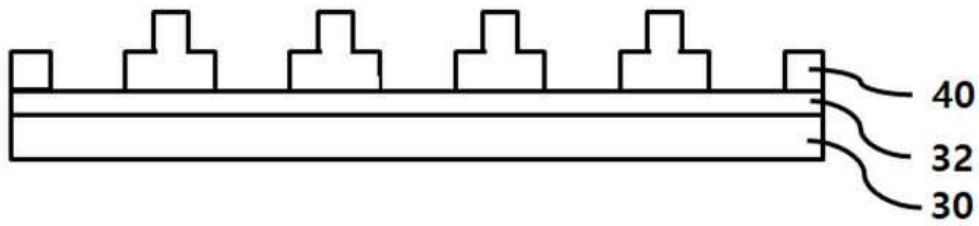
도면7



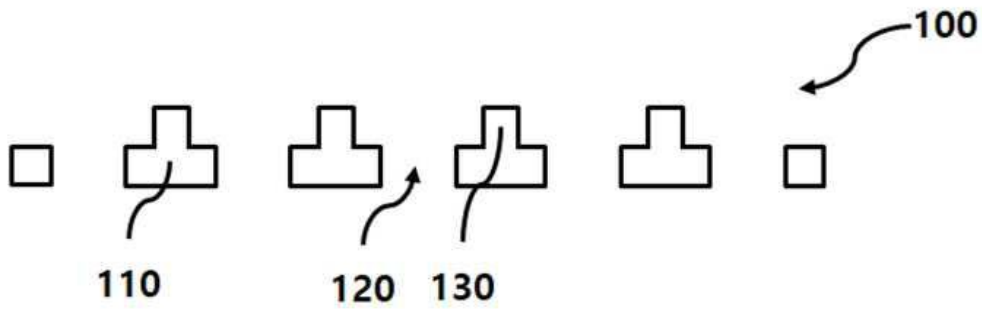
도면8



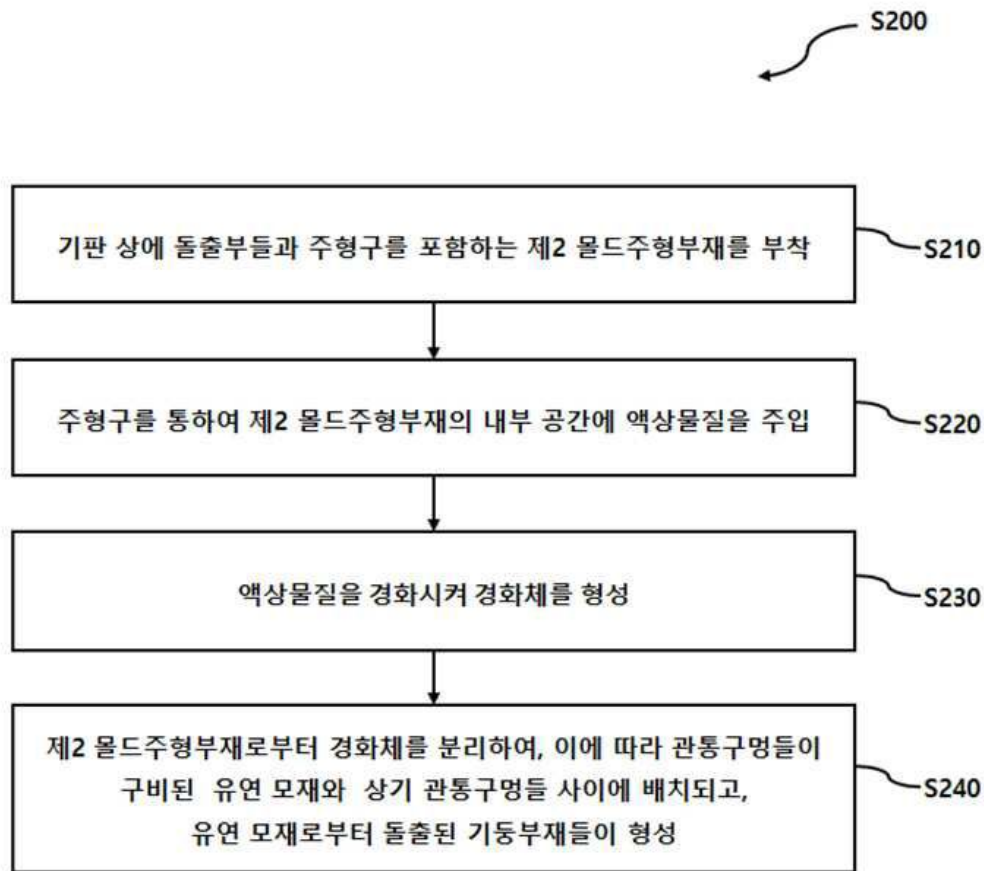
도면9



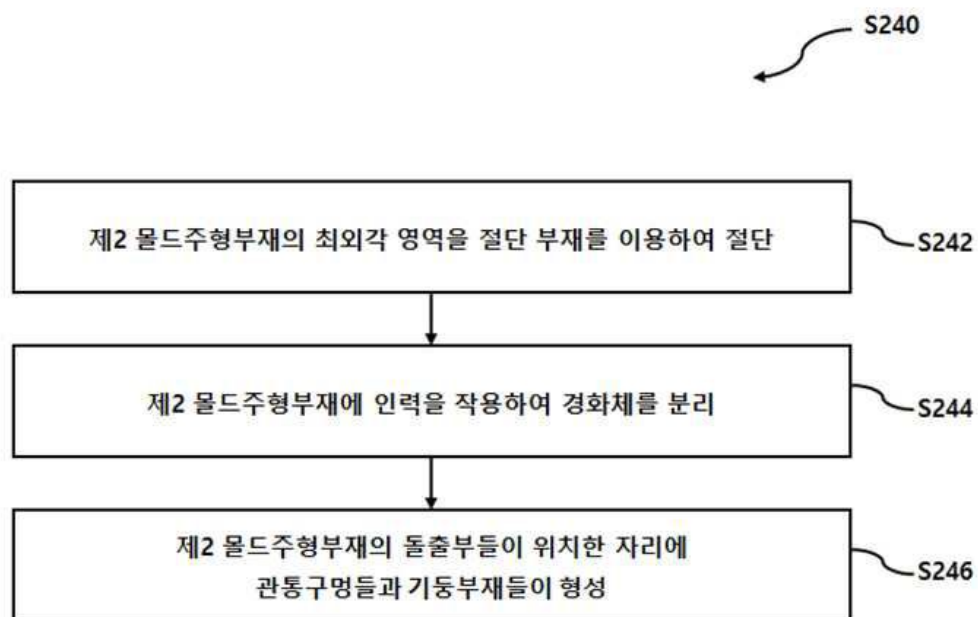
도면10



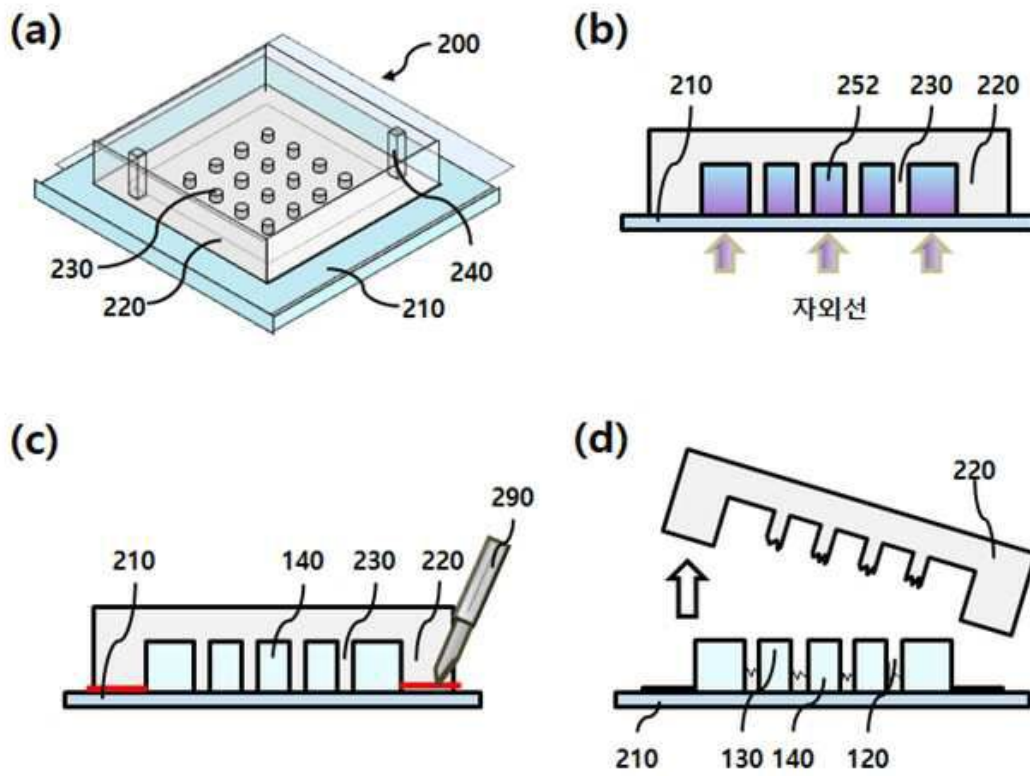
도면11



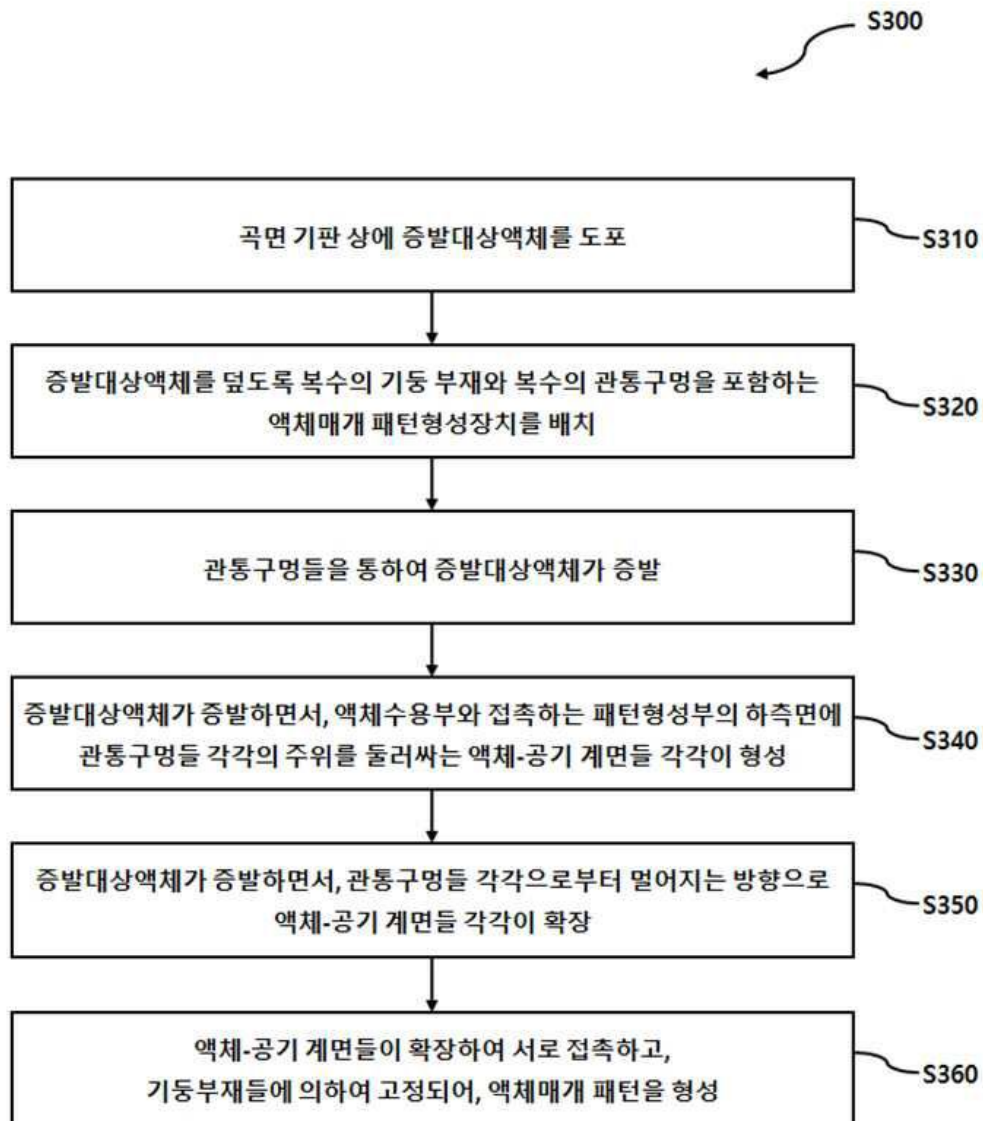
도면12



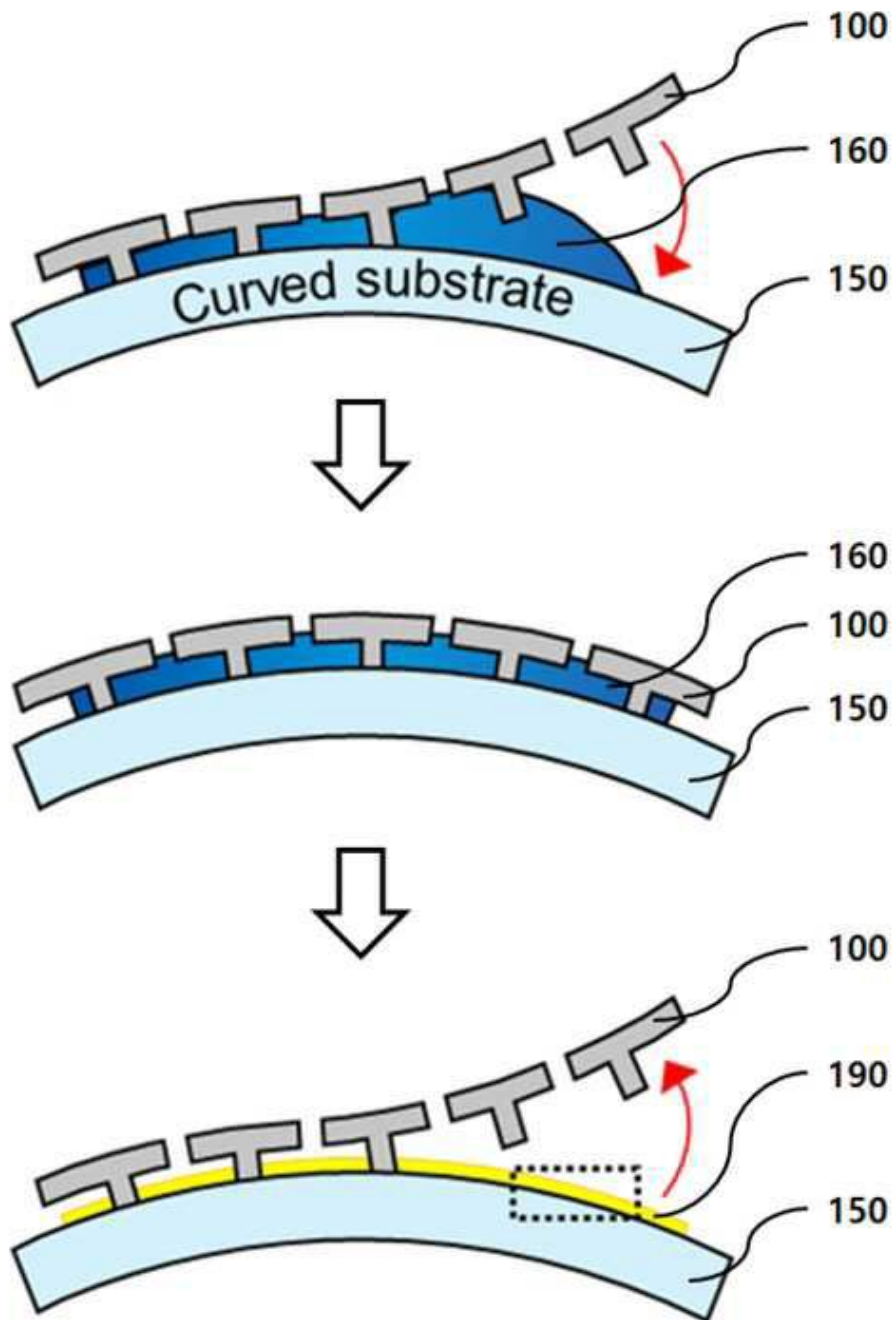
도면13



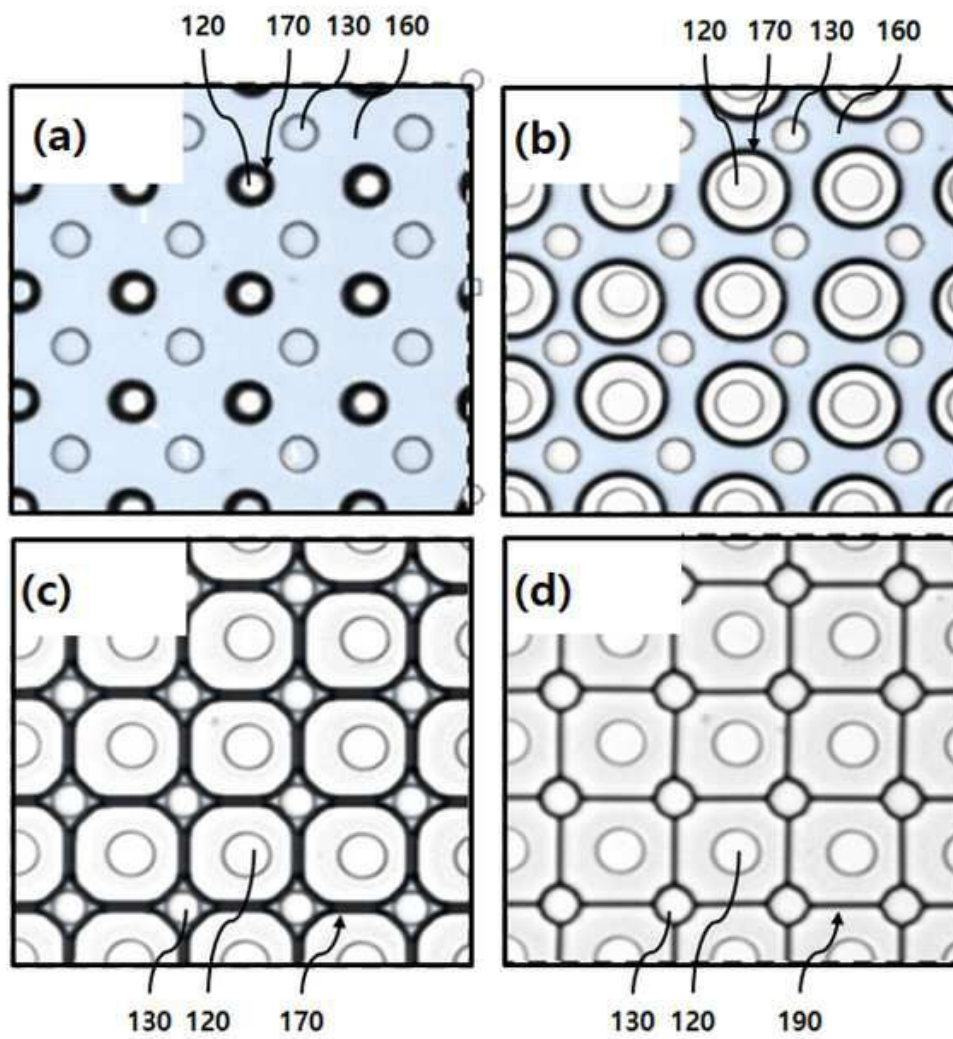
도면14



도면15

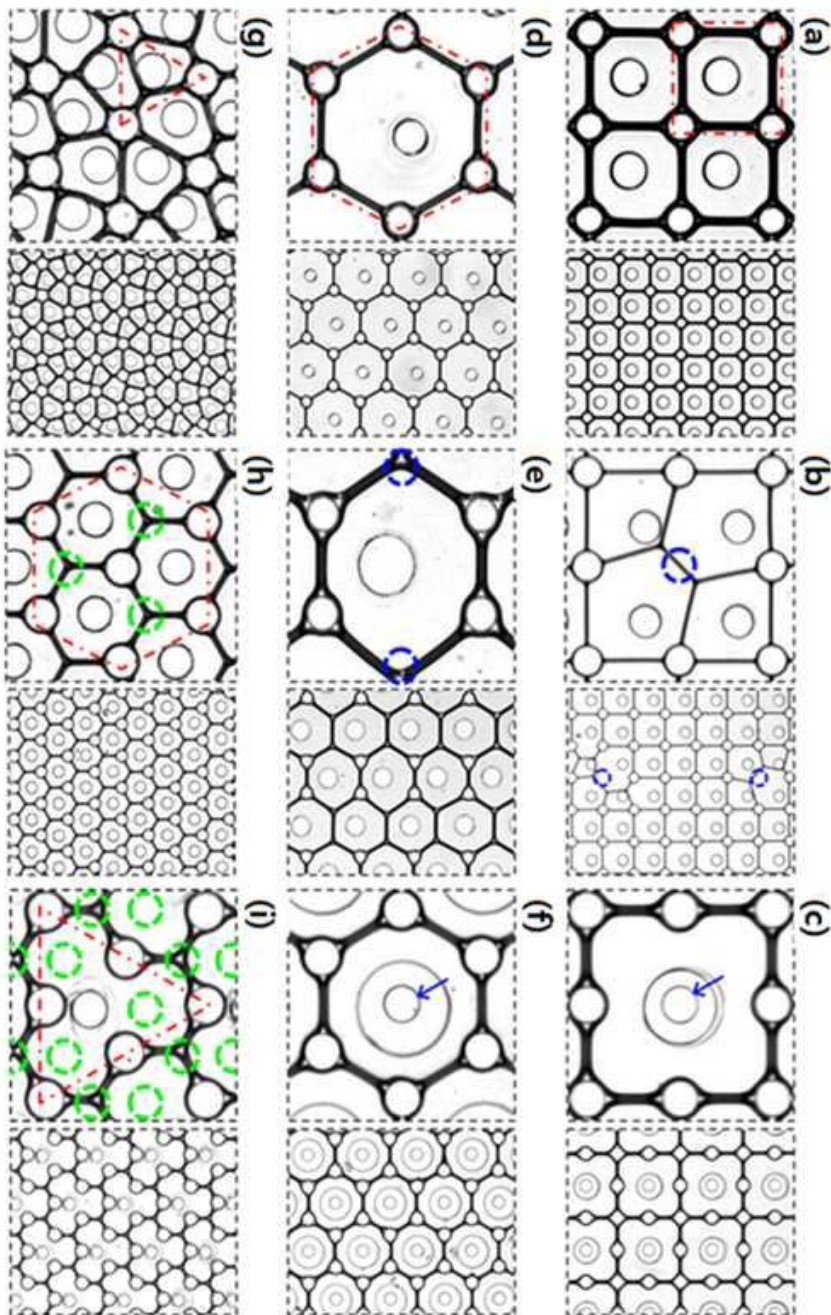


도면16

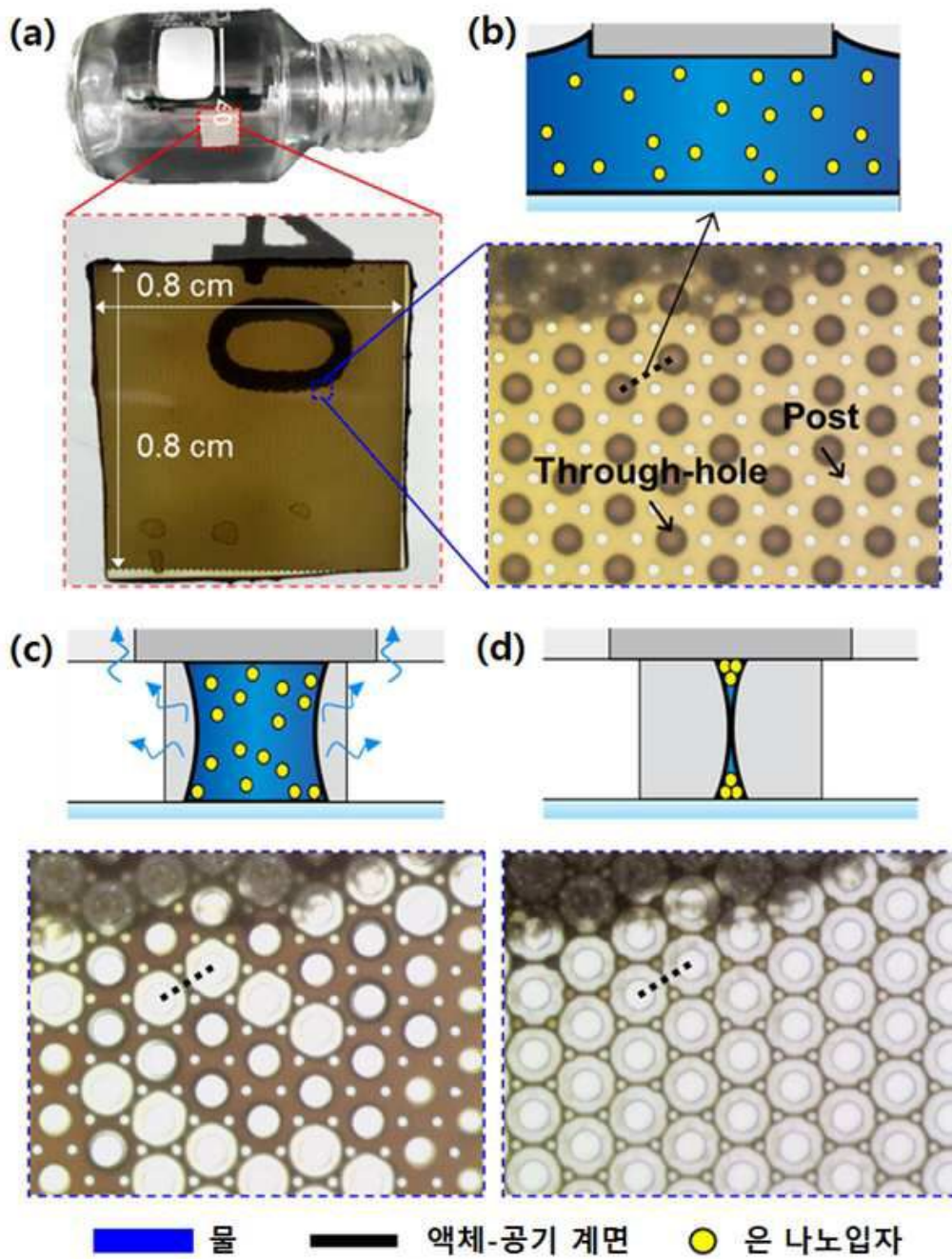




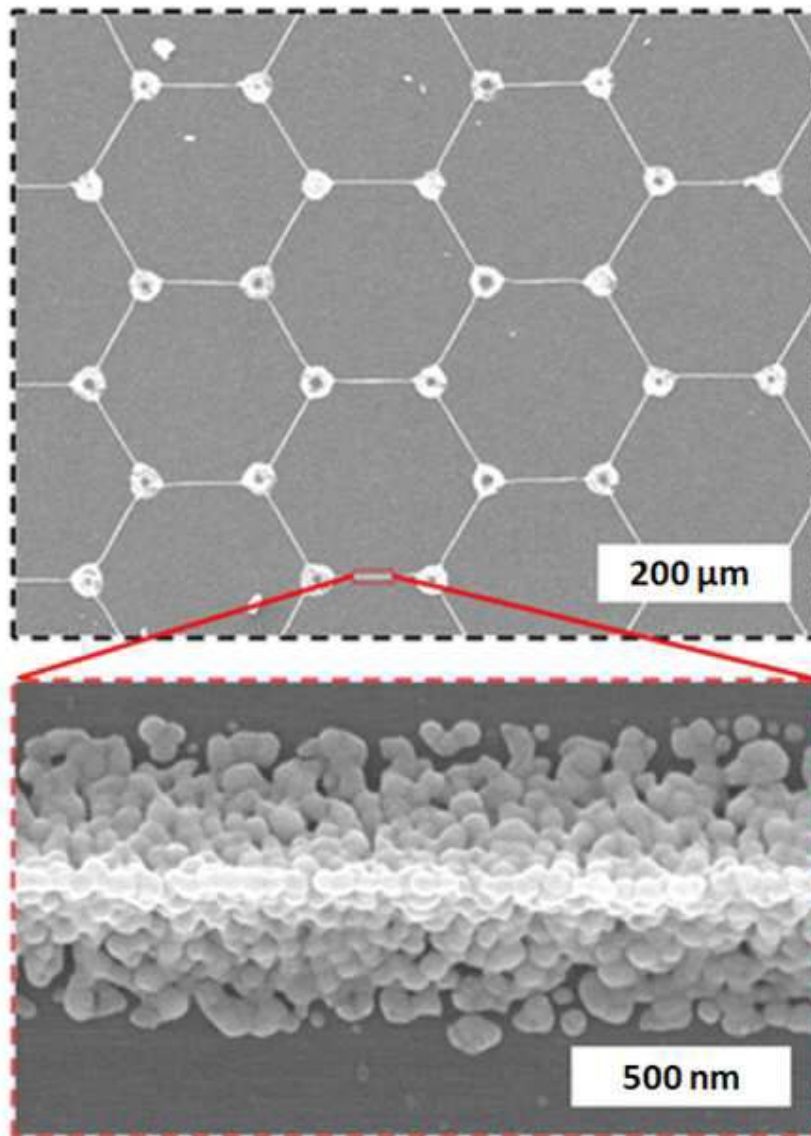
도면18



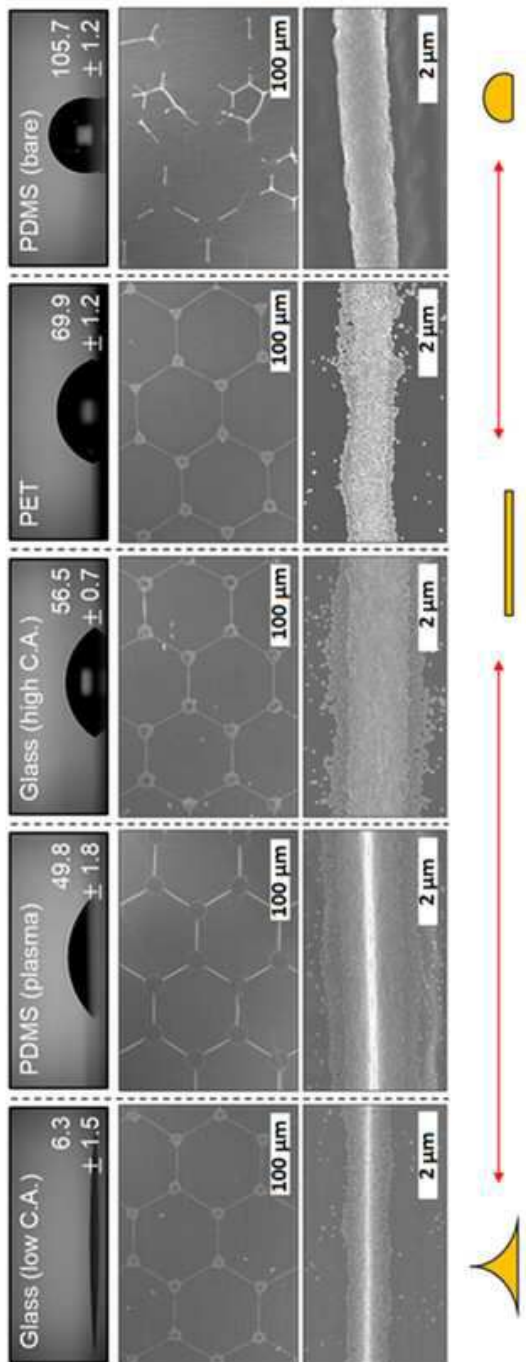
도면19



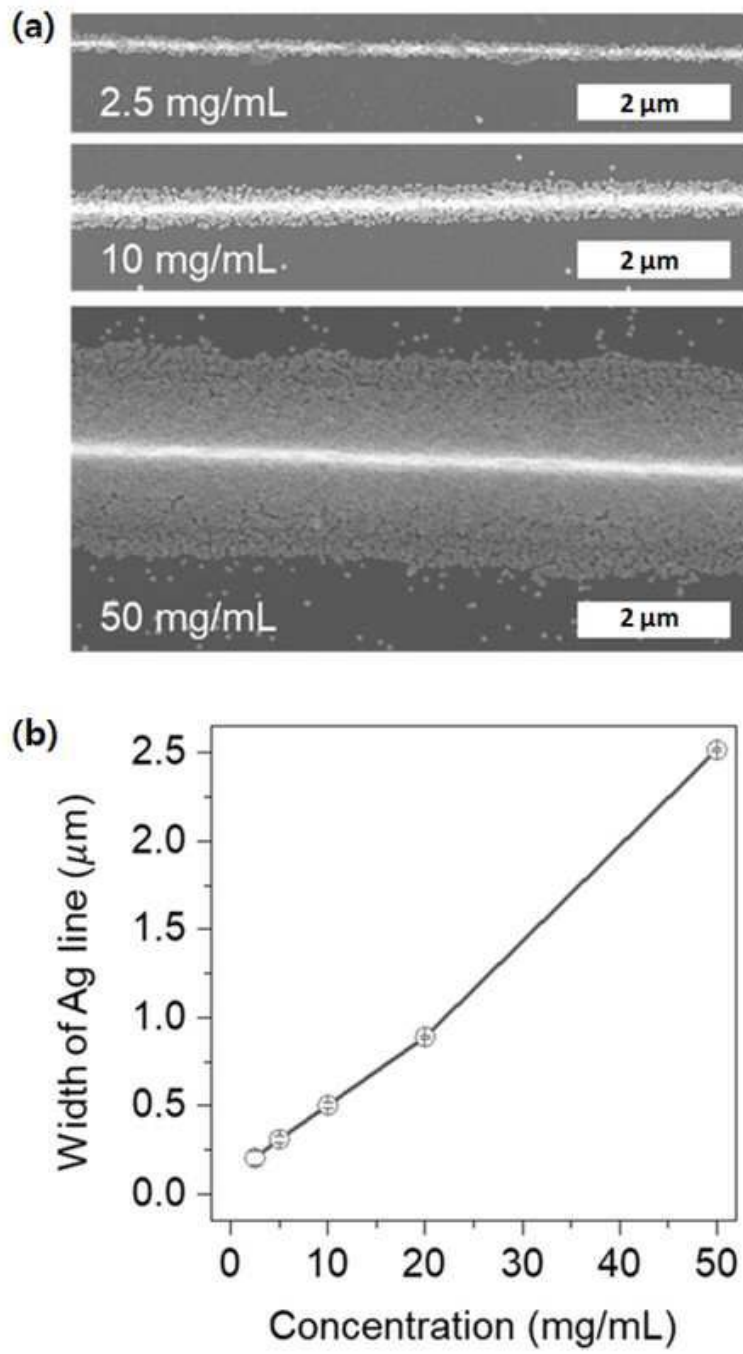
도면20



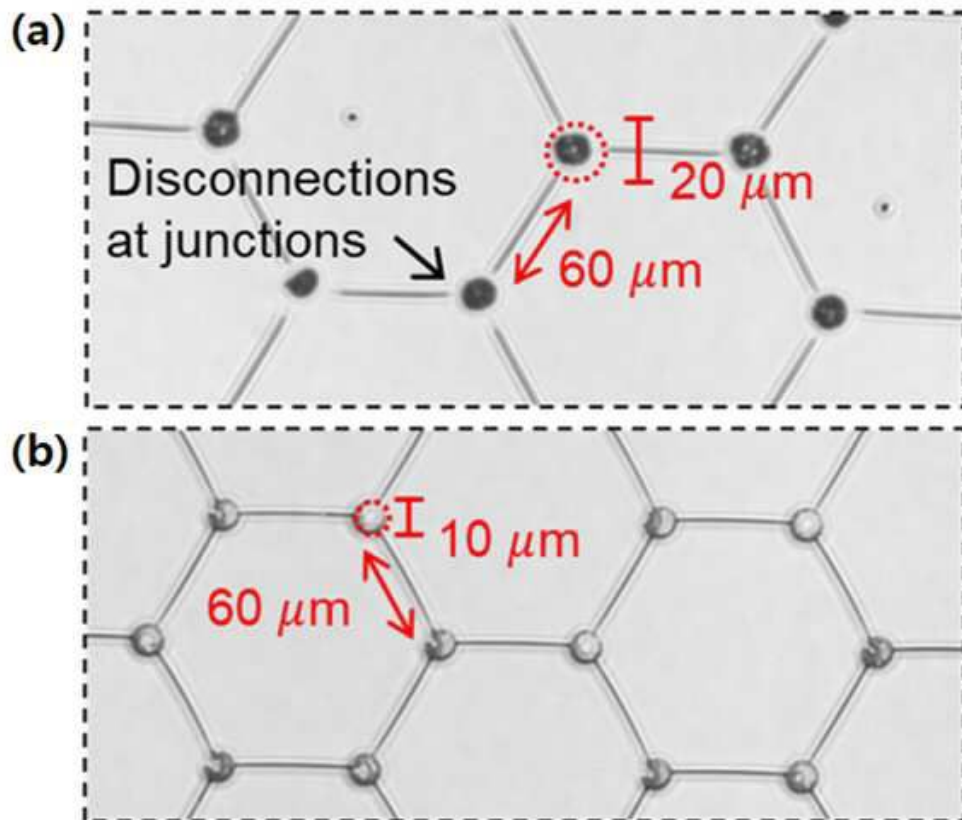
도면21



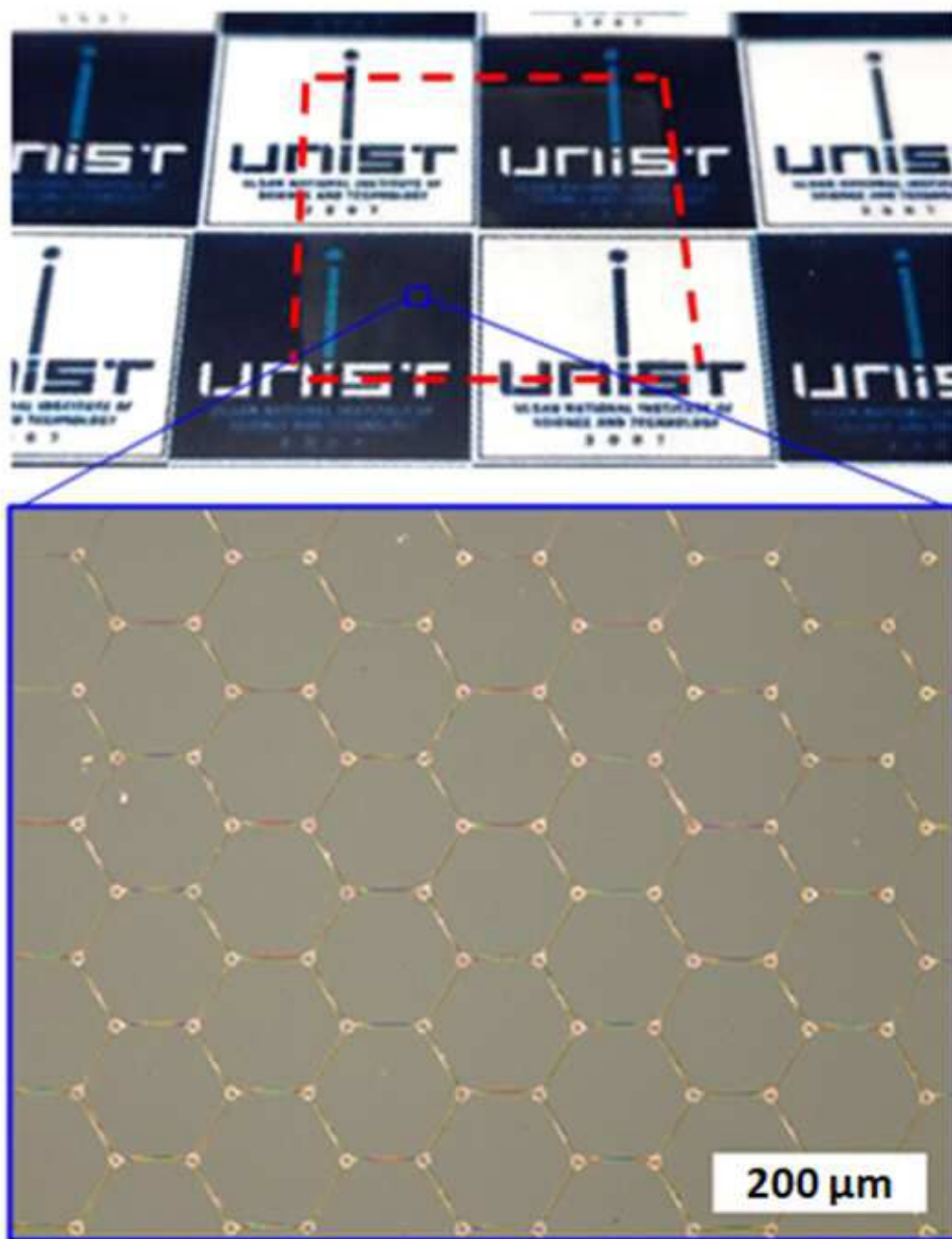
도면22



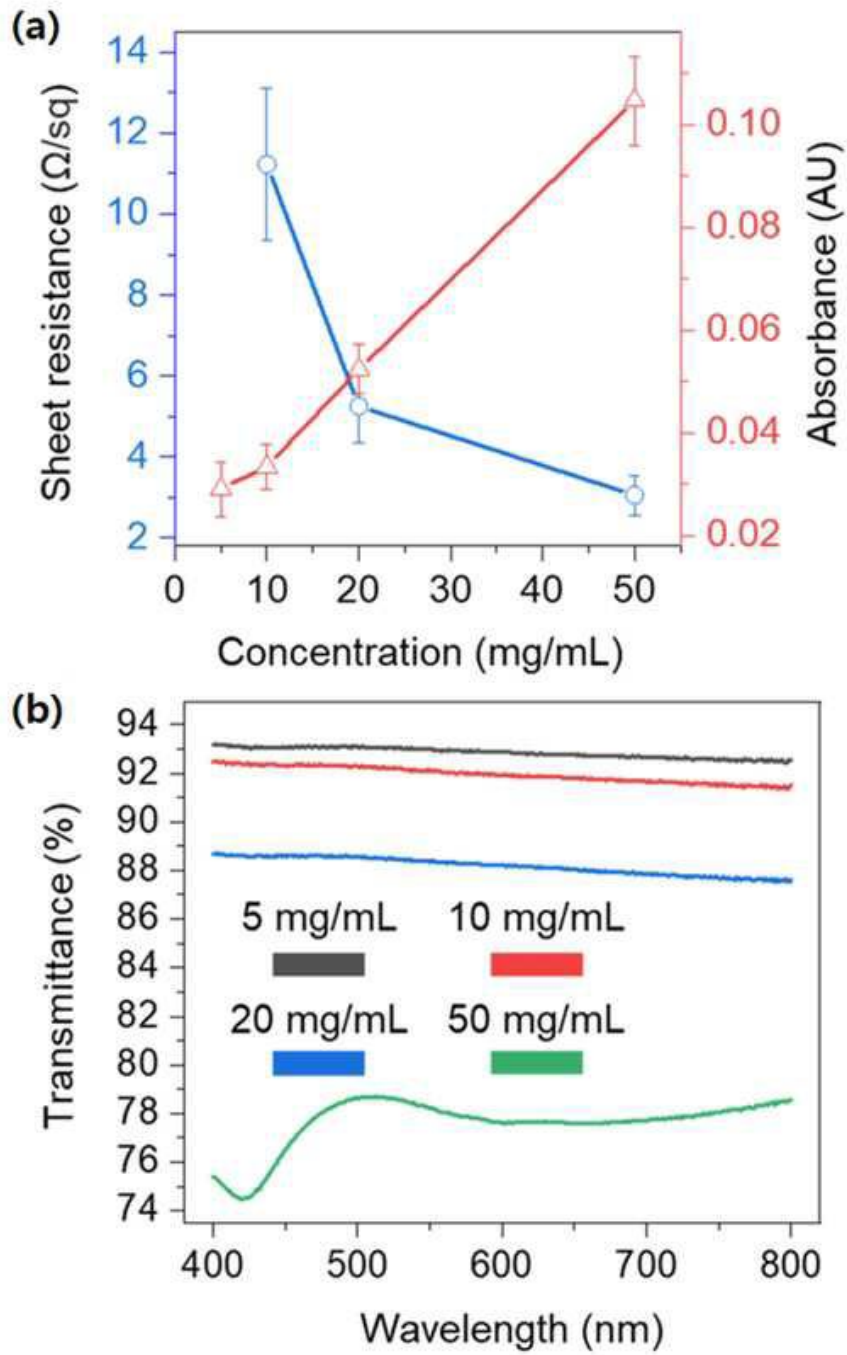
도면23



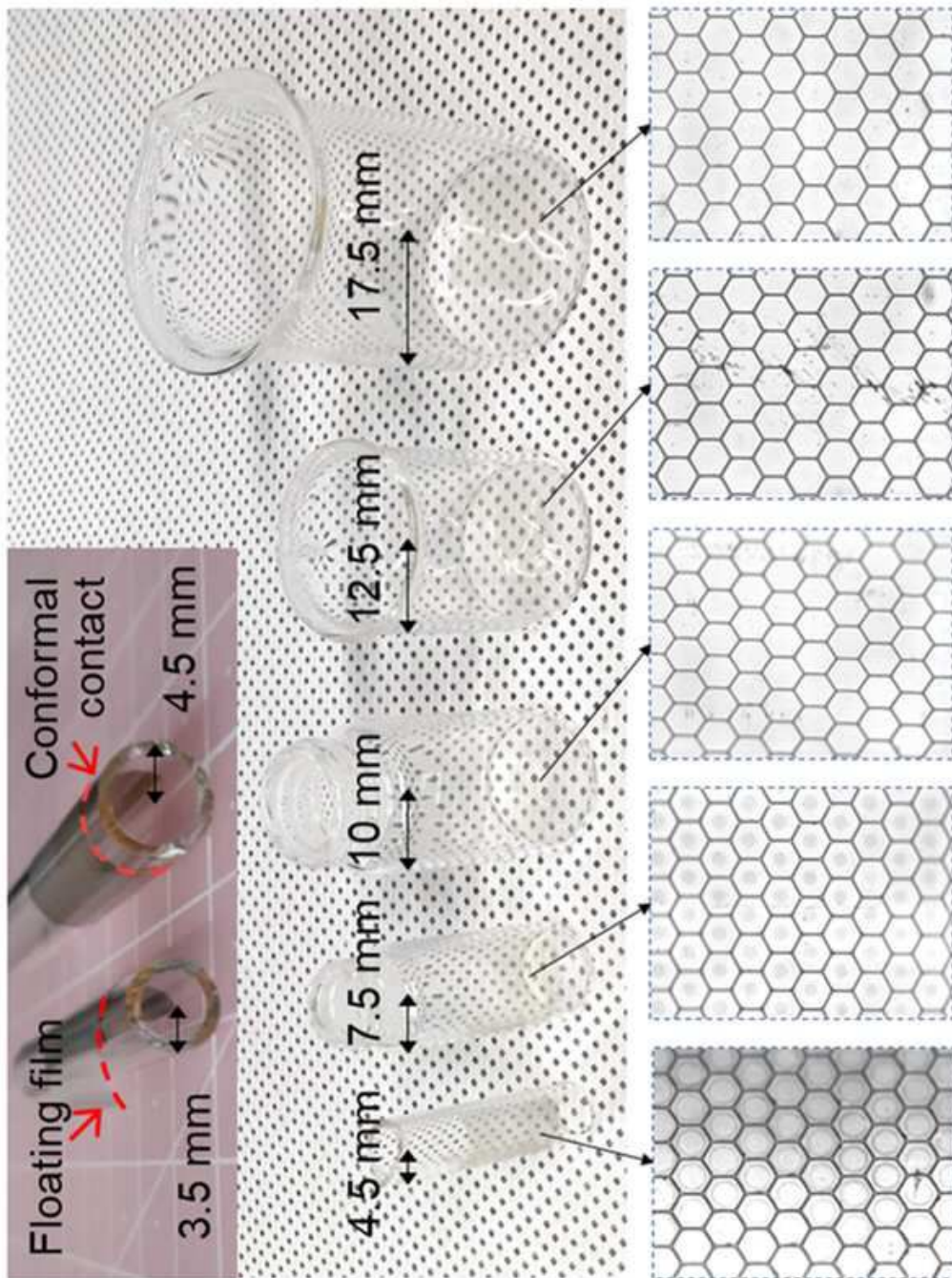
도면24



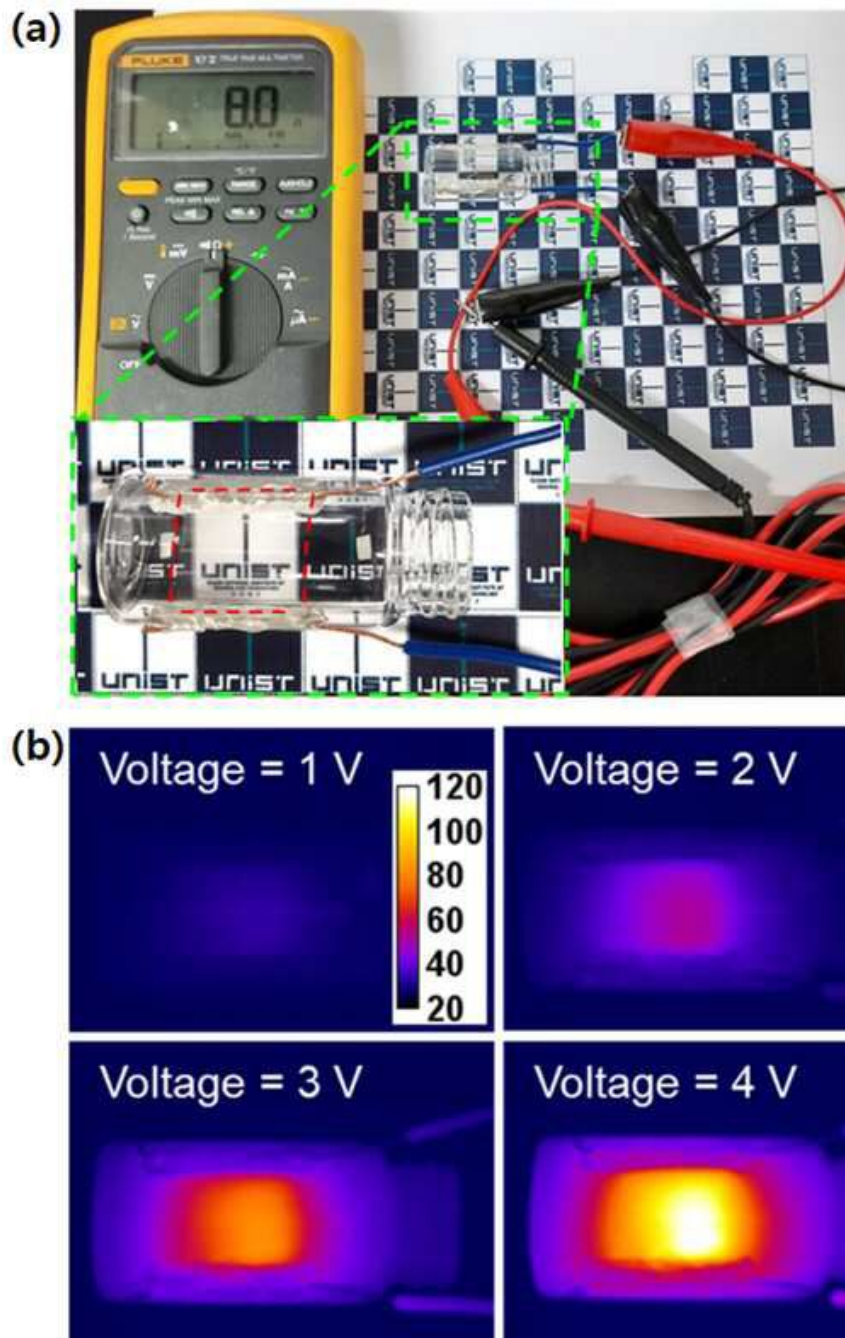
도면25



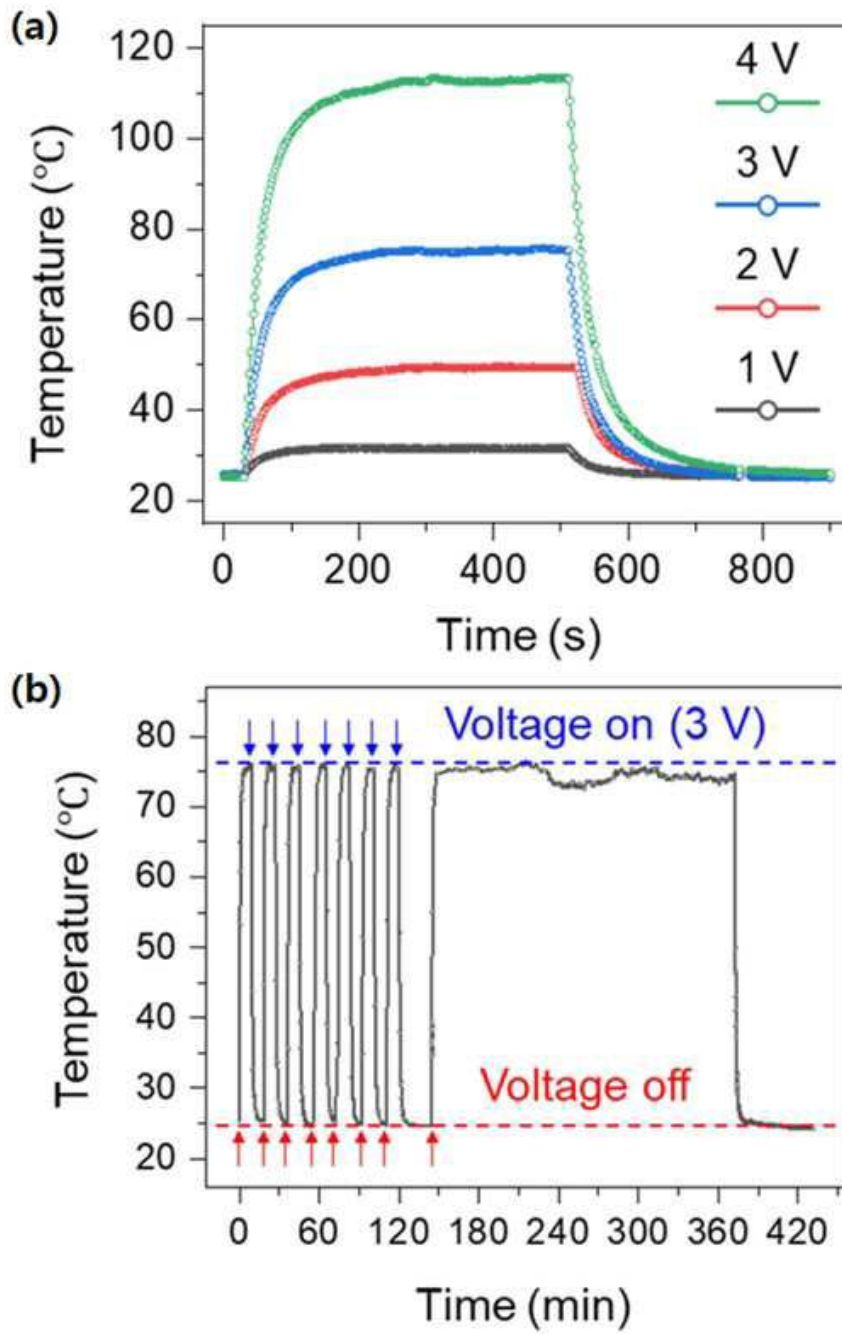
도면26



도면27



도면28



도면29

